



# ESCOLA NAVAL

*talant de biefaire*



Yury Vladislavovich Orzhekhovskiy

**Desenvolvimento e Análise Robusta de Táticas -  
Terrestres em cenários arborizados**

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Ciências Militares Navais, na especialidade de Fuzileiros**



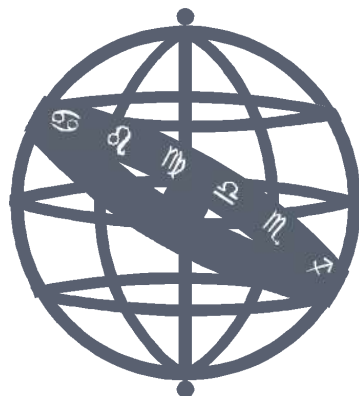
Alfeite  
2020





# ESCOLA NAVAL

talant de bi-faire



Yury Vladislavovich Orzhekhovskiy

## Desenvolvimento e Análise Robusta de Táticas - Terrestres em cenários arborizados

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Ciências Militares Navais, na especialidade de Fuzileiros

Orientação de: CMG RES Maia Martins

Co-orientação de: CFR FZ RES Almeida Gabriel

*O Aluno Mestrando,*

*O Orientador,*

---

Yury Orzhekhovskiy

---

João Martins

Alfeite  
2020



*“It is our choices, that show what we truly are, far more than our abilities.”*

- J. K. Rowling



Aos meus pais, pelos valores e educação incutidos. Por serem sempre um exemplo.  
Obrigado!





# Agradecimentos

Antes de dar início à exposição da Dissertação, gostaria de referir as pessoas que não só contribuíram para a elaboração deste trabalho, mas que também foram fundamentais ao longo destes últimos 5 anos.

Em primeiro lugar, ao meu orientador CMG Maia Martins, que se mostrou sempre disponível para qualquer tipo de dúvidas, pelo desafio proposto e por garantir que o trabalho seguisse sempre o melhor rumo.

Ao CFR FZ Almeida Gabriel, que para além do papel de co-orientador, desempenhou um enorme pilar na minha formação como Fuzileiro.

Ao 2TEN ST-EELT Gaspar Merca, pelo enorme apoio, colaboração e ensinamentos que foram fulcrais em todos os momentos em que senti que cheguei a um beco sem saída.

Ao Curso “João Baptista Lavanha”, por todas as experiências vividas quer nos bons momentos, quer nos momentos mais difíceis. Pela camaradagem, pela força e apoio, sem nunca esquecer “Sobre mente pesa o dever, sobre os ombros o orgulho”.

Por fim, e não menos importante, à minha família, por todo o sacrifício necessário para garantir a minha formação académica e por todos os ensinamentos de vida que mostraram que acima de tudo, é necessário lutar pelos nossos objetivos.



# Resumo

O trabalho “Desenvolvimento e Análise Robusta de Táticas – Terrestres (DART-T) em cenários arborizados” assenta fundamentalmente num complexo simulador baseado em agentes, desenvolvido em MATLAB, com modelos e processos criados a partir do mundo real.

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma ferramenta que permite analisar as diversas maneiras de abordar um problema, bem como analisar, desenvolver e comparar táticas, técnicas e procedimentos (TTP), por forma a obter os resultados mais eficazes e eficientes para diferentes cenários que se pretendam simular, dentro do contexto das operações militares, nomeadamente aquilo que é levado a cabo pelas forças de Fuzileiros.

Incorporando diversas variáveis de cariz estocástico, como o tempo de aquisição de alvo, a probabilidade de *hit* em caso de tiro, e o azimute inicial para o setor de visão do agente defensor, cada simulação é corrida milhares de vezes de forma a obter uma solução robusta para cada cenário criado.

O desenvolvimento do simulador tem por base métodos otimizados para o cálculo de visibilidades, caminhos mais curtos e fórmulas de tiro, permitindo ao utilizador criar a sua própria área de trabalho, podendo visualizar graficamente em tempo real as suas simulações.

Foi definido um conjunto de táticas possíveis de serem empregues para determinado cenário que visam cumprir com a missão estipulada. Algumas das táticas apresentam resultados previsíveis, sendo que para outras foram obtidos resultados inesperados aquando do final da simulação.

O simulador foi testado para um cenário arborizado em que uma força de escalão secção tem como missão efetuar a aproximação por um determinado eixo a um objetivo guarnecido de um agente inimigo, a fim de ocupar a posição inimiga. Calculou-se, assim, a probabilidade de sucesso de cada tática.

**Palavras-chave:** Simulador baseado em agentes, Modelação, Processos, Técnicas Táticas e Procedimentos



# Abstract

This work presents a fundamentally complex multi agent-based simulator that was developed in MATLAB with models and processes created from the real world.

This work aims to present a tool that allows analysing the different ways to approach a problem, as well as analyzing, developing and comparing different Tactics Techniques and Procedures (TTP), to obtain the most effective and efficient results for different scenarios. These scenarios, are within the context of military operations, particularly the ones carried out by Fuzileiros forces.

Incorporating several variables of a stochastic character, such as the time of acquisition of the target, the probability of a hit in the case of a shot and the initial azimuth for the sector of vision of the defensor agent, each simulation is run thousands of times in order to obtain a robust solution for each scenario created.

The development of the simulator is based on optimized methods for calculating visibility, shorter paths and shooting formulas, allowing the user to create his own working area, visualizing in real time the simulations.

It was defined a set of possible tactics to be implemented in a given scenario that would fulfill the stipulated mission. Some of the tactics presented predictable results, while for others unexpected results were obtained after the simulation was completed.

The simulator was tested for a wooded scenario in which a force with a section echelon has the mission of approaching an enemy occupied objective by a given axis in order to occupy the enemy position. Afterwards is calculated the probability of success for each tactic.

**Keywords:** Agent-based simulator, Modeling,Processes, Tactics Techniques and Procedures



# Conteúdo

<b>Introdução</b>	<b>1</b>
<b>1 Modelação</b>	<b>9</b>
1.1 Camadas matriciais . . . . .	9
1.2 Modelos . . . . .	11
1.2.1 Tiro . . . . .	11
1.2.2 Alterações de postura . . . . .	12
1.2.3 Contadores de tempo para tiro . . . . .	13
1.3 Processos . . . . .	13
1.3.1 Megaprocesso . . . . .	15
1.3.2 Desenvolvimento de cenários . . . . .	16
1.3.3 Criar força atacante . . . . .	18
1.3.4 Criar força defensora . . . . .	20
1.3.5 Visibilidade . . . . .	21
1.3.6 Busca visual . . . . .	24
1.3.7 Tiro . . . . .	25
1.3.8 Técnicas, Táticas e Procedimentos . . . . .	26
1.3.9 Movimento . . . . .	33
1.3.10 Verificar condição . . . . .	36
1.3.11 Processo Força Defensora . . . . .	37
1.3.12 Processo Força Atacante . . . . .	39
1.3.13 Processo Designação de Alvo . . . . .	41
1.4 Simulador . . . . .	42
1.4.1 Menu principal . . . . .	42
1.4.2 Produtos resultantes . . . . .	46
1.5 Indicadores de desempenho ( <i>Key Performance Indicators</i> ) . . . . .	49
1.6 Escolha do <i>time-step</i> . . . . .	52
<b>2 Experimentação e Resultados</b>	<b>59</b>
2.1 Cenário . . . . .	59
2.1.1 Cenário Arborizado 01 . . . . .	60
2.1.2 Cenário Arborizado 02 . . . . .	62
2.1.3 Situação . . . . .	63
2.1.4 Missão . . . . .	63
2.1.5 Execução . . . . .	63
2.1.6 Administração e Logística . . . . .	64
2.1.7 Comando e Comunicações . . . . .	64

2.2	Caderno de provas . . . . .	64
2.3	Resultados obtidos . . . . .	66
2.4	Conclusões observadas . . . . .	80
	<b>Conclusão</b>	<b>85</b>
	<b>Bibliografia</b>	<b>89</b>
	<b>Apêndices</b>	<b>93</b>
	<b>A Vídeo do simulador</b>	<b>93</b>
	<b>Anexos</b>	<b>95</b>
I	DART-T - Apresentação na Conferência IDEIA 2020	95
II	Paintball - Testes para a precisão de tiro e tempo de aquisição de alvo	103



# Lista de Figuras

1	Objetivo do simulador DART-T . . . . .	4
1.1	Um SIG como camadas de um bolo. . . . .	9
1.2	Movimento numa camada matricial 5x5. . . . .	10
1.3	Movimento numa camada matricial 10x10. . . . .	11
1.4	Simbologia utilizada nos fluxogramas. . . . .	14
1.5	Fluxograma do Megaprocesso. . . . .	15
1.6	Simbologia utilizada no desenho de cenários. . . . .	17
1.7	Estrutura de dados para armazenar os cenários. . . . .	18
1.8	Representação do método de grade, ponto visível. . . . .	23
1.9	Representação do método de grade, ponto não-visível. . . . .	23
1.10	Exemplo do cálculo de visibilidades num cenário. . . . .	24
1.11	Representação da busca visual. . . . .	25
1.12	Fluxograma processo Tiro. . . . .	26
1.13	TTP 01. . . . .	27
1.14	TTP 02. . . . .	27
1.15	TTP 03. . . . .	28
1.16	TTP 04. . . . .	29
1.17	TTP 05. . . . .	29
1.18	TTP 01 com formatura em linha. . . . .	30
1.19	TTP 01 com formatura em coluna. . . . .	30
1.20	TTP 01 com formatura em 02 Áreas de Trabalho. . . . .	31
1.21	TTP 01 com formatura em 360°. . . . .	32
1.22	Algoritmo de <i>Greedy</i> em árvores de decisão. . . . .	33
1.23	Algoritmo de <i>Greedy</i> aplicado ao movimento de agentes. . . . .	34
1.24	Algoritmo de <i>Alfa Star</i> aplicado ao movimento de agentes. . . . .	34
1.25	Método MM aplicado ao movimento de agentes. . . . .	35
1.26	Quadro resumo dos algoritmos para o movimento de agentes. . . . .	36
1.27	Fluxograma Força Defensora. . . . .	37
1.28	Fluxograma Movimento Força Atacante. . . . .	39
1.29	Fluxograma Designação de Alvo. . . . .	41
1.30	Menu principal DART-T. . . . .	43
1.31	Caixa para escolha do <i>time-step</i> . . . . .	43
1.32	Escolha do número de elementos da Força Atacante. . . . .	43
1.33	Modo robusto ativado e escolha do número de simulações. . . . .	44
1.34	Botão para personalizar variáveis. . . . .	44
1.35	Botão para personalizar variáveis. . . . .	44
1.36	Janela para editar as variáveis. . . . .	45

1.37	Botão para cálculo de visibilidades. . . . .	45
1.38	Botão que dará início à simulação. . . . .	45
1.39	Legenda dos símbolos representados na janela de visualização. . . .	46
1.40	Gráfico de médias sucessivas para o número de elementos vivos. . .	47
1.41	Gráfico de médias sucessivas para a precisão de tiro. . . . .	48
1.42	Gráfico representativo para as diferentes áreas de desempenho. . . .	48
1.43	Gráfico de duração/ <i>time-step</i> . . . . .	53
1.44	Gráfico da média de vivos/ <i>time-step</i> . . . . .	53
1.45	Esquema para o risco de não detecção. . . . .	54
1.46	Normalização <i>Z-Score</i> . . . . .	57
1.47	Normalização <i>Z-Score</i> com <i>Threshold</i> . . . . .	57
1.48	Normalização <i>Min-Max</i> . . . . .	57
1.49	Normalização <i>Min-Max</i> com <i>Threshold</i> . . . . .	58
2.1	Cenário Arborizado 01. . . . .	60
2.2	Enquadramento do primeiro cenário em táticas terrestres. . . . .	61
2.3	Cenário Arborizado 02. . . . .	62
2.4	<i>Scatter plot</i> - Cenário Arborizado 01. . . . .	69
2.5	<i>Scatter plot</i> - Cenário Arborizado 01 por TTP. . . . .	70
2.6	<i>Scatter plot</i> - Cenário Arborizado 01 por formatura. . . . .	70
2.7	<i>Scatter plot</i> - Cenário Arborizado 02. . . . .	71
2.8	<i>Scatter plot</i> - Cenário Arborizado 02 por TTP. . . . .	71
2.9	<i>Scatter plot</i> - Cenário Arborizado 02 por formatura. . . . .	72
2.10	<i>Scatter plot</i> - Cenário Arborizado 01 e 02. . . . .	72
2.11	Média sucessiva de elementos vivos por simulação: Cenário Arbori- zado 01. . . . .	73
2.12	Média sucessiva de elementos vivos por simulação: Cenário Arbori- zado 01 + TTP 01. . . . .	74
2.13	Média sucessiva de elementos vivos por simulação: Cenário Arbori- zado 01 + TTP 02. . . . .	74
2.14	Média sucessiva de elementos vivos por simulação: Cenário Arbori- zado 01 + TTP 03. . . . .	75
2.15	Média sucessiva de elementos vivos por simulação: Cenário Arbori- zado 01 + TTP 04. . . . .	75
2.16	Média sucessiva de elementos vivos por simulação: Cenário Arbori- zado 01 + TTP 05. . . . .	76
2.17	Média sucessiva de elementos vivos por simulação: Cenário Arbori- zado 02. . . . .	76
2.18	Média sucessiva de elementos vivos por simulação: Cenário Arbori- zado 02 + TTP 01. . . . .	77
2.19	Média sucessiva de elementos vivos por simulação: Cenário Arbori- zado 02 + TTP 02. . . . .	77
2.20	Média sucessiva de elementos vivos por simulação: Cenário Arbori- zado 02 + TTP 03. . . . .	78
2.21	Média sucessiva de elementos vivos por simulação: Cenário Arbori- zado 02 + TTP 04. . . . .	78

2.22	Média sucessiva de elementos vivos por simulação: Cenário Arborizado 02 + TTP 05. . . . .	79
2.23	Média sucessiva de elementos vivos por simulação: Cenário Arborizado 01 + 02. . . . .	79
A1	Local da realização dos testes. . . . .	104
A2	Esquema da realização dos testes. . . . .	105
A3	Tabela de registo de <i>hits</i> e tempos para percorrer o percurso, em segundos. . . . .	106
A4	Resultados testes precisão de tiro. . . . .	106
A5	Resultados dos testes para tempos de aquisição e tempos entre disparos. . . . .	107



# Lista de Tabelas

1.1	Matriz Força Atacante. . . . .	19
1.2	Matriz Força Defensora. . . . .	21
1.3	Postura e velocidade de progressão para cada TTP. . . . .	32
1.4	Resultados dos testes para determinar o melhor <i>time-step</i> . . . . .	52
1.5	Normalização Z-Score. . . . .	55
1.6	Normalização <i>Z-Score</i> com <i>Threshold</i> . . . . .	55
1.7	Normalização <i>Min-Max</i> . . . . .	56
1.8	Normalização <i>Min-Max</i> com <i>Threshold</i> . . . . .	56
2.1	Número de simulações por TTP. . . . .	65
2.2	Variáveis e valores utilizados nas simulações. . . . .	65
2.3	Médias e MOE obtidos para o Cenário Arborizado 01. . . . .	67
2.4	Médias e MOE obtidos para o Cenário Arborizado 02. . . . .	68
2.5	Análise da TTP vencedora Cenário Arborizado 01. . . . .	80
2.6	Análise da TTP vencedora Cenário Arborizado 02. . . . .	81
2.7	Análise de resultados por TTP - Cenário Arborizado 01. . . . .	81
2.8	Análise de resultados por TTP - Cenário Arborizado 02. . . . .	82
2.9	Análise de resultados por formatura - Cenário Arborizado 01. . . .	82
2.10	Análise de resultados por formatura - Cenário Arborizado 02. . . .	82



# Lista de Equações

1.2.1	Probabilidade de tiro em função da distância ao alvo. . . . .	12
1.3.1	Fórmula do gradiente. . . . .	21
1.3.2	Distância entre dois pontos. . . . .	22
1.3.3	Coordenada do ponto intermédio. . . . .	22
1.3.4	Altitude do terreno no ponto intermédio. . . . .	22
1.3.5	Altitude da linha de visão. . . . .	22
1.3.6	Distância euclidiana. . . . .	22
1.3.7	Probabilidade de tiro. . . . .	26
1.4.1	Mean Square Sucessive Difference. . . . .	46
1.5.1	Percentagem da execução de um projeto. . . . .	49
1.5.2	MOE 01. . . . .	50
1.5.3	Média de elementos vivos. . . . .	50
1.5.4	Média do tempo decorrido. . . . .	50
1.5.5	MOE 02. . . . .	51
1.5.6	MOE 03. . . . .	51
1.5.7	Precisão de tiro. . . . .	51
1.5.8	MOE 04. . . . .	51
1.5.9	MOE 04 alternativa. . . . .	52
1.6.1	Normalização Z-score. . . . .	55
1.6.2	Normalização Min-Max. . . . .	56





# Nomenclatura

BOB	Blue-on-blue
C2	Comando e Controlo
CAD	Cadetes
CF	Corpo de Fuzileiros
CINAV	Centro de Investigação Naval
DART-T	Desenvolvimento e Análise Robusta de Táticas-Terrestres
EN	Escola Naval
FFZ	Força de Fuzileiros
FRAGO	Fragmentary Order
IDEIA 2020	Conferência Investigação, Desenvolvimento, Experimentação e Inovação da Armada 2020
LER	Loss Exchange Ratio
SIMNAV	Simulador de Navegação, Radar e Manobra
USMC	United States Marine Corps
CMG	Capitão-de-Mar-e-Guerra
CNA	Center of Naval Analysis
ESCAPE	EUROCONTROL Simulation Capabilities and Platform for Experimentation
ISAAC	Irreducible Semi-Autonomous Adaptive Combat
KPI	Key Performance Indicators
MABS	Multiagent Based Simulators
MANA	Map Aware Non-uniform Automata

MOE	Measure of Effectivness
MSSD	Mean Square Sucessive Difference
NPS	Naval Postgraduate School
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
ts	time steps
TTP	Táticas, Técnicas e Procedimentos

# Introdução

## Pertinência

As operações militares são muito complexas e existem ilimitadas combinações para a forma como é dado o desenrolar dos conflitos (Cassal, 2006). O autor faz sucessivas comparações referindo que mesmo com parâmetros iniciais bem definidos, existe a possibilidade de obter resultados muito diferentes e até mesmo infinitos. Por exemplo, refere a existência de apenas cinco cores primárias (azul, amarelo, vermelho, branco e preto) mas que é possível fazer misturas nunca antes vistas. Escreve que existem apenas cinco sabores capazes de serem reconhecidos, (ácido, salgado, doce, amargo e umami<sup>1</sup>, mas existe mais combinações de sabores do que alguma vez possam vir a ser provados.

Da mesma forma, em operações militares, apesar de só existir um número limitado de ações táticas a tomar<sup>2</sup>, as possibilidades de manobra são infinitas (Standardization Office, 2016). Devido à enorme complexidade de parâmetros e variáveis existentes, torna-se muito difícil de antever resultados e de fazer testes precisos. Como tal, o Comandante que tem maior capacidade em prever resultados, experimentar novas abordagens a diferentes cenários e de saber quais os *outcomes* mais prováveis das suas Táticas, Técnicas e Procedimentos (TTP), tem uma enorme vantagem do ponto de vista tático em relação às forças opositoras.

À medida que a tecnologia evolui, a forma como as batalhas são conduzidas sofre alterações. Da mesma forma que o equipamento e armamento é atualizado, deve também haver adaptações a nível tático, operacional e estratégico, permitindo maximizar as capacidades de enfrentar forças opositoras (U.S.Marine Corps, 1997b, p. 14). Como tal, é fundamental haver atualizações e a elaboração de novas doutrinas que façam frente aos novos tipos de conflito, mas que também vão de encontro as capacidades das forças militares. Por doutrina, entende-se todo o tipo de fundamentos relativos a condução da guerra e que de alguma forma estabelecem a forma de pensar, agir e combater (U.S.Marine Corps, 1997b, p. 43). No entanto, pouca alteração tem vindo a ser feita à forma de combater e como manobrar em situações de conflito. Todas as alterações de doutrina implicam uma mudança na forma de pensar, o que é uma tarefa demorada e dispendiosa, principalmente na parte de validação das mesmas. Para além da realização de exercícios de aprontamento e treino, poucos são os esforços realizados para combater este défice.

---

<sup>1</sup> Sabor delicioso ou agradável que constitui um dos cinco sabores básicos, a par do doce, do salgado, do amargo e do azedo. Dicionário Priberam, <https://dicionario.priberam.org/umami>, consultado a 11 de dezembro de 2019.

<sup>2</sup> Offensive, Defensive, Stability, Enabling

Repare-se que mesmo a realização de exercícios de cariz militar acarreta elevados custos associados ao treino e experimentação. Nomeadamente, a nível logístico há um elevado gasto com munições e com o transporte de pessoal e material. A nível de saúde, como em todos os exercícios militares, está associado um grande risco de acidentes durante a experimentação de novos procedimentos (Moskaliuk, Bertram & Cress, 2013). Mais importante ainda, é muito difícil de testar os mesmos procedimentos num elevado número de cenários, uma vez que os militares vão ficando cada vez mais cansados e são obtidos resultados pouco rigorosos e circunstanciais. Como tal, a utilização de simuladores para a realização de treinos visa combater essas mesmas deficiências.

No âmbito da Marinha Portuguesa, foi levantada a hipótese da utilização de simuladores para verificar o potencial no desenvolvimento de competências (Cavaleiro, Gomes & Lopes, 2018). Verificou-se que o treino em simuladores contribui para um melhor desenvolvimento de competências e de trabalho em equipa (Cavaleiro, Gomes & Lopes, 2018).

## Enquadramento Teórico

Um simulador, por definição, é uma imitação aproximada de processos ou sistemas do mundo real (Law & Kelton, 1991, p. 1). Permite obter resultados precisos quando os mesmos não podem ser obtidos por experimentação ou por processos analíticos. Por sua vez, os simuladores podem ser classificados por três dimensões, sendo estas: modelos estáticos ou dinâmicos, determinísticos ou estocásticos, contínuos ou discretos (Law & Kelton, 1991, p. 4).

Enquanto que os modelos estáticos pretendem representar sistemas que não variam ao longo do tempo, os modelos dinâmicos podem sofrer alterações à medida que a simulação decorre. Nestes, é ainda possível caraterizar a forma como a passagem do tempo é representada, de duas formas. No caso dos simuladores de jogos ou de alguns simuladores de treino como os que estão em utilização na Força Aérea a passagem do tempo é de forma real, como é o caso do *EUROCONTROL Simulation Capabilities and Platform for Experimentation* (ESCAPE), uma plataforma para o controlo de aproximação de tráfego aéreo (de Carvalho, 2017, p. 14). Também na Escola Naval (EN), em 2004, foi instalado um Simulador de Navegação, Radar e Manobra (SIMNAV) utilizado no âmbito da formação dos CAD (cadetes), alunos da instituição (Ferreira, 2017, p. 1). Nos simuladores de tempo simulado, é possível obter resultados de horas de simulação em alguns segundos.

Nos simuladores determinísticos, os resultados são pré-determinados, por outro lado, os simuladores estocásticos dependem de um conjunto de variáveis que são aleatórias. Como tal, os resultados variam de simulação para simulação.

Por fim, o conceito de um simulador contínuo difere de um discreto no facto de que o primeiro é baseado em equações diferenciais que têm um domínio contínuo e descrevem com exatidão os resultados para qualquer momento, e o segundo é feito ao longo de determinados intervalos de tempo – *time steps* (*ts*) (Stéphane Galland, 2015). Os simuladores discretos, quando realizados em intervalos muito curtos de

tempo, são conhecidos como pseudo-contínuos e são capazes de reproduzir modelos contínuos com elevada exatidão.

Na Marinha, através da simulação, “é possível implementar modelos ou fenómenos reais com o objetivo de treino, análise ou experimentação.” (Roque, 2010). A simulação permite, desde modo, treinar situações que noutras condições exigiriam elevado risco, custo e o empenhamento de meios navais ou aeronaves (Roque, 2010).

A modelação de todos os cenários militares é uma tarefa muito complexa e dispendiosa e como tal, deve ser definido um nível de relação entre a precisão que pretendemos adquirir e a simplicidade necessária para permitir que os mesmos sejam aplicáveis. Em “Simulating War”(Sabin, 2012), o autor escreve que deve existir uma relação que permita descrever o mundo com rigor e detalhe, ao mesmo tempo que o modelo seja simples o suficiente para os simuladores serem compreendidos e serem capazes de ser utilizados como ferramentas para o apoio à decisão. Além disso, sendo a flexibilidade<sup>3</sup> um dos fundamentos das operações militares, está implícito a existência de um enorme leque de cenários em que as forças podem atuar (Exército Português, 2012, p. 6-2). Como tal, existe uma grande dificuldade em distinguir quais os cenários plausíveis e mais prováveis, uma vez que, após alguma reflexão, poucos são os cenários que parecem impossíveis (Levine, Schelling & Jones, 1991). Assim, e uma vez que é inexequível modelar todos os cenários existentes devido a quantidade infinita de parâmetros possíveis, é necessário delimitar exatamente qual o alvo de estudo dos trabalhos realizados nesta área.

Em (Faria, 2013, p. 26), o autor refere que a modelação de comportamentos humanos apresenta muitos problemas, devidos à complexidade dos processos e pelo enorme volume de informação processada. De facto, quanto mais detalhe existir na transposição do mundo real para o mundo simulado, maior é a duração dos processos, o que pode levar a que a duração da simulação seja maior que a duração de uma experiência equivalente realizada em ambiente real.

Os Multiagent Based Simulators (MABS) são simuladores que funcionam com agentes modelados a partir do mundo real. Estes agentes permitem que cada indivíduo tenha a sua própria personalidade, comportamentos e reações, criando um universo mais heterogéneo e que se assemelha ao mundo real. Os MABS são apropriados para compreender o comportamento de situações não-lineares, para o estudo da eficácia em combate das doutrinas existentes, para fornecer resultados antecipados de eventos que possam acontecer em situações de combate e a influência de determinadas decisões da chefia, melhorando as capacidades de Comando e Controlo (C2) (Ilachinski, 1997, p. 7).

---

<sup>3</sup> Permitir adaptar os planos para fazer face a alterações da situação, acontecimentos inesperados e para explorar oportunidades.

## Objetivo

A ideia Desenvolvimento e Análise Robusta de Táticas – Terrestres (DART-T) surge com a necessidade da criação de uma ferramenta que permita o desenvolvimento de novos procedimentos e a análise e simulação de diferentes linhas de ação.

Aplicando os modelos e processos necessários para a modelação de agentes, nomeadamente com as características psicofísicas, procedimentais e doutrinárias presentes no Corpo de Fuzileiros (CF), esta dissertação tem como principal objetivo desenvolver um simulador pseudo-contínuo, capaz de ser utilizado para o estudo do impacto de determinadas TTP, em vários tipos de cenário.

À semelhança de outros trabalhos congêneres, é desejável que o simulador seja capaz de interligar vários sistemas e valências. Apesar de nesta dissertação de mestrado o simulador não ter sido desenvolvido ao seu máximo potencial, é importante deixar explícito que se pretende que este projeto continue a ser melhorado e seja capaz de implementar ainda mais capacidades: alterações de comportamento, agentes com personalidades e características físicas distintas e diferentes sistemas de armas, sensores e comunicações.

Não obstante, e para efeitos de validação, tem-se como segundo objetivo, aplicar o simulador para analisar algumas das TTP em vigor. Assim, irão ser construídos dois cenários de estrutura arborizada e, para o escalão de secção, verificar quais os procedimentos mais eficazes para as diferentes situações.

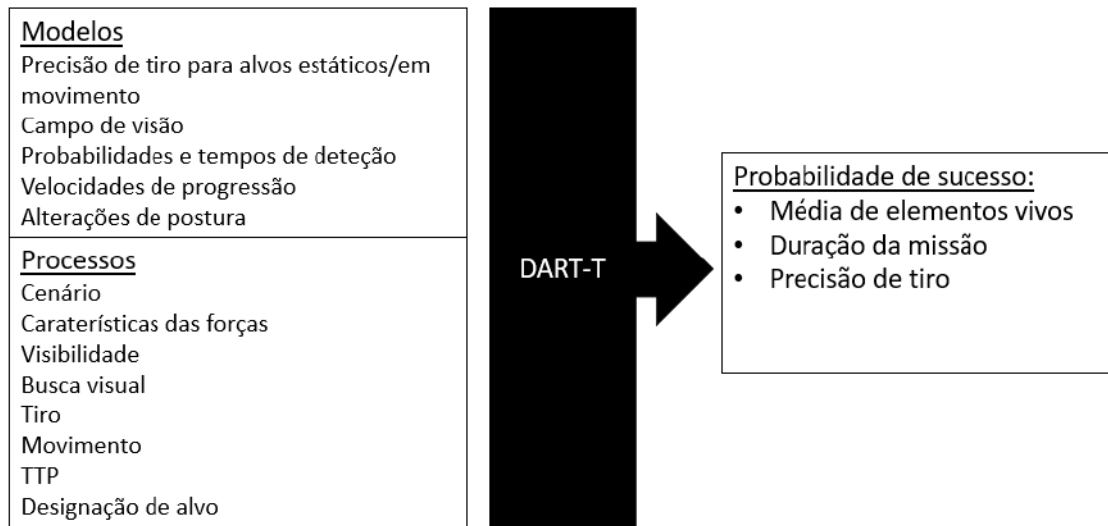


FIGURA 1: Objetivo do simulador DART-T(Adaptado de Martins, 2017)

O esquema acima demonstra a ferramenta DART-T, como um simulador que, uma vez alimentado de modelos e processos, consegue prever com elevada precisão a probabilidade de sucesso de cada tática. Neste trabalho concreto, foram implementados modelos para a precisão de tiro, campo de visão, probabilidades e

tempos de detecção, velocidades de progressão e alterações de postura. Uma vez combinados com os processos de desenho de cenários, criação das forças, visibilidade, busca visual, tiro, movimento e designação de alvos, o simulador é capaz de calcular a probabilidade de sucesso de cada TTP. Assim, é obtido a média de elementos vivos, a duração da missão e os valores para a precisão de tiro.

Todo este processo tem em vista criar um *know-how* interno, uma vez que, atualmente, não existe nenhum serviço quer na Escola Naval, quer no Corpo de Fuzileiros, dedicado à simulação e modelação e à recolha de dados. É importante saber as dificuldades sentidas e o tipo de dados necessários para esta ferramenta ser empregue em unidades operacionais. Apesar de o simulador ser construído como uma ferramenta de simples utilização, o mesmo não será possível para quem queira dar continuidade ao projeto, sendo necessário um *mindset* muito específico e conhecimento mais aprofundado do funcionamento do simulador. Por fim, com esta dissertação, pretende-se que haja outros trabalhos que tornem o simulador mais completo, já que é possível melhorar e acrescentar detalhes que possam ter um grande impacto nos resultados.

## Estrutura da Dissertação

Neste subcapítulo vai ser abordada a forma como a dissertação se encontra organizada, dando ao leitor uma melhor sensação da organização efetuada, permitindo um melhor acompanhamento do trabalho realizado.

O trabalho encontra-se dividido em quatro capítulos intitulados de Introdução, Modelação, Experimentação e Resultados e Conclusão.

No primeiro capítulo, faz-se uma breve introdução ao tema abordado, referindo a pertinência do mesmo, explica-se no que consistem os simuladores e a modelação de agentes e processos, o objetivo da dissertação e uma análise de trabalhos congêneres.

No segundo capítulo, aborda-se a forma como foram modelados os agentes, como foram construídos todos os processos e como funciona a plataforma do simulador.

No terceiro capítulo, após a construção do cenário arborizado, são definidas um conjunto de TTP a serem testadas. O simulador é corrido e são obtidos os resultados que depois são analisados.

Por fim, na Conclusão é feita uma análise do trabalho realizado, referindo as dificuldades sentidas e propostas para novos trabalhos dentro do mesmo âmbito.

## Estado da arte

Como em qualquer outro trabalho de cariz científico, é importante ter conhecimento dos demais trabalhos realizados dentro do mesmo âmbito. Isto permite

saber que trabalhos foram desenvolvidos, os pareceres da comunidade científica sobre os mesmos e, além disso, obter informações que possam vir a ser utilizadas neste trabalho. Deste modo, é possível adaptar os produtos resultantes de estudos já realizados a novas situações, evitando-se o consumo de tempo e recursos desnecessários.

### ***SecurePort***

O SecurePort é uma ferramenta de apoio à decisão de níveis estratégico, operacional e tático, desenvolvida para melhorar o planeamento de missões em cenários de proteção portuária contra ameaças terroristas (Martins, 2017). Este simulador, concebido pelo Capitão-de-Mar-e-Guerra (CMG) Maia Martins em 2017, assenta num complexo simulador baseado em agentes, e que ao ser alimentado por informação geográfica, consegue antever probabilidades de sucesso de ataques terroristas por superfície ou por sub superfície.

O simulador utiliza diversos modelos e algoritmos otimizados para o cálculo de visibilidades e probabilidades de deteção por sensores radar, sonar, eletro-ótico, infravermelho e visual, interceção de alvos em movimento, interação de agentes com o dispositivo de segurança, interação com agentes terroristas de superfície e mergulhadores terroristas.

Quando corrido milhares de vezes, obtiveram-se diferentes resultados como a quantidade de pessoal e equipamento necessário para garantir determinada probabilidade de sucesso, a disposição do pessoal e do equipamento para otimizar os benefícios, a probabilidade de sucesso de cada tática e, por fim, quais as melhores soluções para aumentar o sucesso de cada dispositivo de segurança.

### **ISAAC**

Acrónimo para Irreducible Semi-Autonomous Adaptive Combat (ISAAC), foi inicialmente desenvolvido por Dr. Andrew Ilachinski em 1997. É um simulador baseado em agentes modelados, discreto e com dinâmicas não-lineares em ambiente de duas dimensões (Ilachinski, 1997).

É capaz de representar unidades de infantaria e cavalaria e foi principalmente utilizado para validar a utilização de simuladores com multiagentes em simulações de combate.

### **JANUS**

O JANUS é uma plataforma desenhada especificamente para a implementação e desenvolvimento de sistemas com múltiplos agentes. Desenvolvido em 1999 em linguagem Java 1.6, é um simulador pseudo-contínuo em que as operações são planeadas e executadas por utilizadores enquanto as reações individuais de cada agente são feitas pelo *software*.

É capaz de ser utilizado para simular situações de combate de forma interativa e com grande resolução, mas tem como desvantagem o tempo necessários para carregar os dados iniciais e as instruções de cada agente (Berzins et al., 1999, p. 2).



## *Archimedes*

O *Archimedes Combat Modeling Plantaform* foi desenvolvido para o *U. S. Marine Corps Combat Development Commands* e tem como objetivo simular situações de combate intangíveis e representar momentos de não-linearidade intrínsecos às observadas em campos de batalha (Horne & Leonardi, 2001). Foi construído com o intuito de ser flexível o suficiente para representar vários tipos de missões desempenhadas pelo *U. S. Marine Corps*.

Como tal, é uma plataforma que utiliza a modelação de agentes e que se faz servir de *Data Farming* para obter os seus resultados. Portanto, permite ao utilizador criar agentes com comportamentos e capacidades muito próprios, nomeadamente o tipo de armamento e a missão a desempenhar. Estas características são representadas por várias variáveis com valores distribuído por categorias *fuzzy*, tais como “Perto”, “Muito perto”, “Longe” e “Muito longe” para a variável “Distância”.

Este simulador apresenta uma nova abordagem para ambientes complexos, ao mesmo tempo que é acessível o suficiente para qualquer utilizador.

## MANA

O simulador *Map Aware Non-uniform Automata* (MANA) foi desenvolvido para o Exército da Nova Zelândia e inclusive foi utilizado em diversas teses da *Naval Postgraduate School* (NPS) de forma a simular o resultado de diferentes conceitos de emprego de forças militares. É um simulador robusto e pseudo-contínuo, baseado em agentes que são capazes de interagir com outros agentes e com o terreno envolvente através de sistemas de comunicação e sensores. Para além disso, os agentes são definidos com valores diferentes, resultando que cada agente tem uma personalidade própria e capacidades, sensores, armamento e comunicações diferentes. Por fim, cada agente reage de forma distinta de acordo com as suas características e a sua percepção do cenário.

Este mesmo simulador foi utilizado diversas vezes para validar a aplicabilidade de pelotões dos United States Marine Corps (USMC) realizarem novos conceitos de operações, como é o caso das *Distributed Operations*, um novo conceito no emprego de forças de fuzileiros (FFZ), obtendo resultados que seriam impossíveis apenas por experiências reais (Babilot, 2005).



# Capítulo 1

## Modelação

De acordo com 1999, p. 2, os modelos são representações matemáticas ou algoritmos que representam como o funcionamento de um sistema. Quando os sistemas são simples, é possível encontrar uma equação que facilmente defina o comportamento observado. No entanto, em problemas mais complexos, muito dificilmente é possível construir um modelo matemático. Assim, é necessário fazer representações o mais semelhantes possível, com um grau de erro aceitável (Smith, 1999, p. 3).

### 1.1 Camadas matriciais

Em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), são utilizadas várias camadas que, quando interligadas e sobrepostas, conseguem representar um objeto espacial. Cada camada, ou *layer*, contém um tipo de informação diferente e é com a combinação de todas elas que é criada a representação do mundo real. Em Campbell e Shin, 2011, p. 24-25 é referido que os SIG são frequentemente descritos como um bolo em que cada camada representa diferentes informações geográficas como edifícios, estradas, terreno, que são depois sobrepostas.

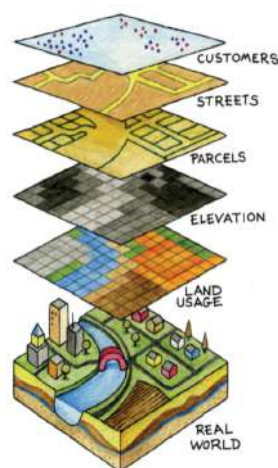


FIGURA 1.1: Um SIG como camadas de um bolo.  
Fonte: Retirado de Campbell e Shin (2011).

De forma semelhante, utiliza-se várias camadas matriciais para representar diferentes aspetos para cada cenário. Nomeadamente, são feitas várias camadas: para guardar a altimetria, para obstáculos no terreno, para as posições dos agentes e uma última para a vegetação. Estas camadas, são materializadas em matrizes, em que em cada célula está armazenado o valor associado a essa coordenada. Assim, é feita uma divisão do terreno por linhas e colunas e cada célula corresponde a um ponto no terreno.

Naturalmente, quanto maior o número de células, maior é a resolução do terreno. Assim, ao dividir o mundo em milhares de partes, é possível obter uma representação muito precisa do terreno que estamos a analisar. No entanto, é importante referir, que quanto maior o número de divisões, maior é o esforço computacional requerido para fazer o simulador funcionar. A escolha do número de linhas e colunas deve ser adaptada para cada cenário e situação em estudo.

Apesar de ser possível armazenar uma grande quantidade de informação em matrizes, existe uma grande implicação que deve ser tida em conta. Um agente, ao movimentar-se de um ponto para outro, por cada *time-step*, só pode deslocar-se uma quadricula de cada vez. Isto implica que na verdade não são realizadas curvas e que a linha reta que iria definir o deslocamento realizado, é na verdade um conjunto de segmentos de reta que fazem  $90^\circ$  entre si.

Considerando o seguinte cenário em que um agente se move de um ponto A (1,1) para um ponto B (5,3), o terreno foi dividido por 5 linhas e 5 colunas (5x5), contabilizando um total de 25 quadriculas. Na seguinte imagem é feita uma representação deste mesmo cenário e é assinalado o caminho percorrido pelo agente.

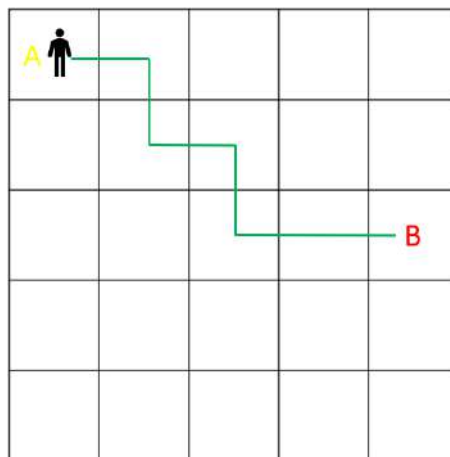


FIGURA 1.2: Movimento numa camada matricial 5x5.

Fonte: Autor.

Como é possível observar, o movimento de A até B não forma uma linha a direito, uma vez que o agente só pode ocupar uma quadricula de cada vez. Além disso, o agente encontra-se sempre no centro de cada quadrícula, uma vez que uma matriz só tem linhas e colunas com valores inteiros.

Considere agora, a mesma situação, mas em que o terreno foi dividido em 10x10.

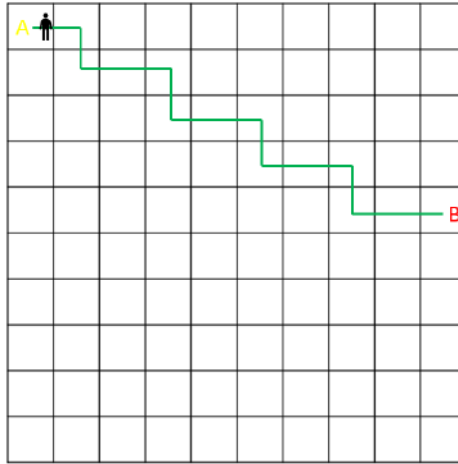


FIGURA 1.3: Movimento numa camada matricial 10x10.

Fonte: Autor.

Como é possível constatar, o movimento tornou-se mais suave e, apesar de o agente continuar-se a mover uma quadrícula de cada vez, a percurso percorrido é mais aproximado ao movimento real. Portanto, e apesar de o movimento ser sempre efetuado quadrícula a quadrícula, é possível considerar que no limite, para terrenos com milhares de quadrículas e em cada *time-step*, o movimento é tão ínfimo, que é seguro afirmar que é igual ao movimento real humano e é equiparado a uma só reta.

## 1.2 Modelos

Os modelos apresentados neste trabalho foram obtidos através de referências, nomeadamente com trabalhos congêneres desenvolvidos no âmbito deste projeto. Nestes estudos, foram definidos um conjunto de modelos que pretendem caracterizar o comportamento e características de militares Fuzileiros. Estes modelos, após analisados, foram transformados em coeficientes que são algumas das bases para o funcionamento do simulador.

### 1.2.1 Tiro

Segundo **jones2020**, os fatores que influenciam a capacidade de tiro são a distância ao alvo, o treino, a ansiedade, área exposta e o tipo de apoio utilizado.

#### Distância

Ao saber a distância entre o atirador e o alvo, é possível descobrir um valor para o coeficiente para a probabilidade de tiro, utilizando a seguinte fórmula:

$$prob = \frac{57}{57 + e^{0.01 \times dist}} \quad (1.2.1)$$

Em que *dist* é a distância em metros, calculada no processo do cálculo de visibilidade.

#### Treino

O nível de treino é designado aquando da criação do agente e está dividido em três valores e respetivos coeficientes, com base na prática de tiro e do treino do indivíduo:

- Pouco – Menos de uma vez por ano – 0.79
- Médio – Entre um vez por ano e uma vez por mês – 0.915
- Muito – Pelo menos uma vez por semana – 0.95

#### Ansiedade

O nível de ansiedade, é também definido na parametrização da Força Defensora e pode ter os seguintes coeficientes:

- *Low Anxiety* – 0.7
- *High Anxiety* – 0.47

#### Área exposta

A área exposta é calculada pela função cobertura, que após calcular distância entre o observador e o alvo, verifica o valor da área exposta. Quando não existe nenhum obstáculo e o agente encontra-se em pé, a valor utilizado para a área exposta é o valor total de referência para a envergadura média de um homem. À medida que existem alterações de postura, a área exposta é menor. Nos caso em que um agente encontra-se em pé, por traz de um obstáculo, é também calculada a área visível do agente.

#### Tipo de apoio

Definiu-se que existem três técnicas para fazer tiro e qual o impacto das mesmas para a precisão geral.

- *Off elbows* – 0.81
- *Free-hand* – 0.87
- *Bipode* – 0.93

### 1.2.2 Alterações de postura

Os tempos de alteração de postura são referentes ao tempo necessário aguardar para um agente passar da posição de pé para deitado e vive-versa. Para efeitos de simulação, tomou-se o pressuposto que este tempo toma o valor de 1s, quer para a situação de levantar quer para deitar.

### 1.2.3 Contadores de tempo para tiro

Mais uma vez, os modelos referentes ao tiro foram baseados segundo o trabalhos congêneres. Pode-se assumir que o processo de tiro é dividido em três fases distintas, o que irá dar origem a três contadores de tempo desde que o alvo é detetado, até que realmente seja feito o tiro. Além disso, é criado um quarto contador, que é ativado nas situações em que um alvo deixa de estar visível, e que irá ser explicado em seguida.

Numa primeira fase, desde que o alvo está visível, é necessário aguardar um período de tempo até o alvo ser detetado. Nesse período de tempo, é iniciado o contador de tempo de deteção.

Em seguida, inicia o contador de tempo de aquisição, o tempo necessário aguardar entre a deteção e ser feito pontaria.

Por fim, o tempo de pontaria inicia após o alvo ser adquirido, até ser feito tiro.

No entanto, surgiu a necessidade de criar um quarto contador de tempo, o contador para trocar de alvo. Este contador é iniciado quando o alvo já está adquirido e, entretanto, deixa de estar visível. Com isto, garante-se que não se troca de alvo imediatamente a este deixar de estar dentro da linha de vista, mas também permite que ao fim do tempo determinado, passe a procura de outro alvo.

Como tal, os contadores tomam os respetivos valores, adaptados para o bom funcionamento do simulador:

- Tempo de deteção - 1s;
- Tempo de aquisição - Aleatório entre 1.105s e 1.273s;
- Tempo de pontaria - Aleatório entre 1.080s e 1.842s;
- Tempo para trocar de alvo - 3s.

## 1.3 Processos

Os processos estão apresentados em forma de fluxograma para uma melhor compreensão dos mesmos. É utilizado um código de cores para melhor explicar o tipo de etapas que são realizadas. É possível verificar que os processos possuem a cor cinzenta, que representa que o próximo passo é realizado num processo independente. Os processo principais, a azul, são um conjunto de vários processos que necessitam de uma explicação mais detalhada e que são a base para o funcionamento do simulador. A laranja, os *inputs*, são valores que o utilizador tem que introduzir para o seu estudo e, por sua vez, os *outputs*, a verde, são o conjunto de valores de saída no final da simulação. Estes, são utilizados para efetivamente obter conclusões acerca de cada TTP. A amarelo, as decisões, representam um conjunto de hipóteses, nas quais dependendo da condição verificada, o simulador vai reagir de determinada forma. Por último, a vermelho, é representado o fim de um processo.

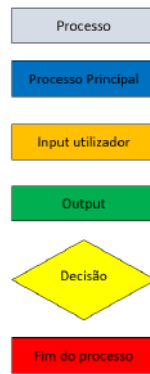


FIGURA 1.4: Simbologia utilizada nos fluxogramas.  
Fonte: Autor.

Primeiramente, é apresentado o fluxograma do megaprocesso, que representa na íntegra a forma como o simulador é corrido, ciclo após ciclo. Em seguida, são explicados como foram desenvolvidos os vários processos e, por fim, é demonstrado como estes foram interligados para criar três grandes processos principais: Força Defensora, Movimento Força Atacante e Designação de Alvo.



### 1.3.1 Megaprocesso

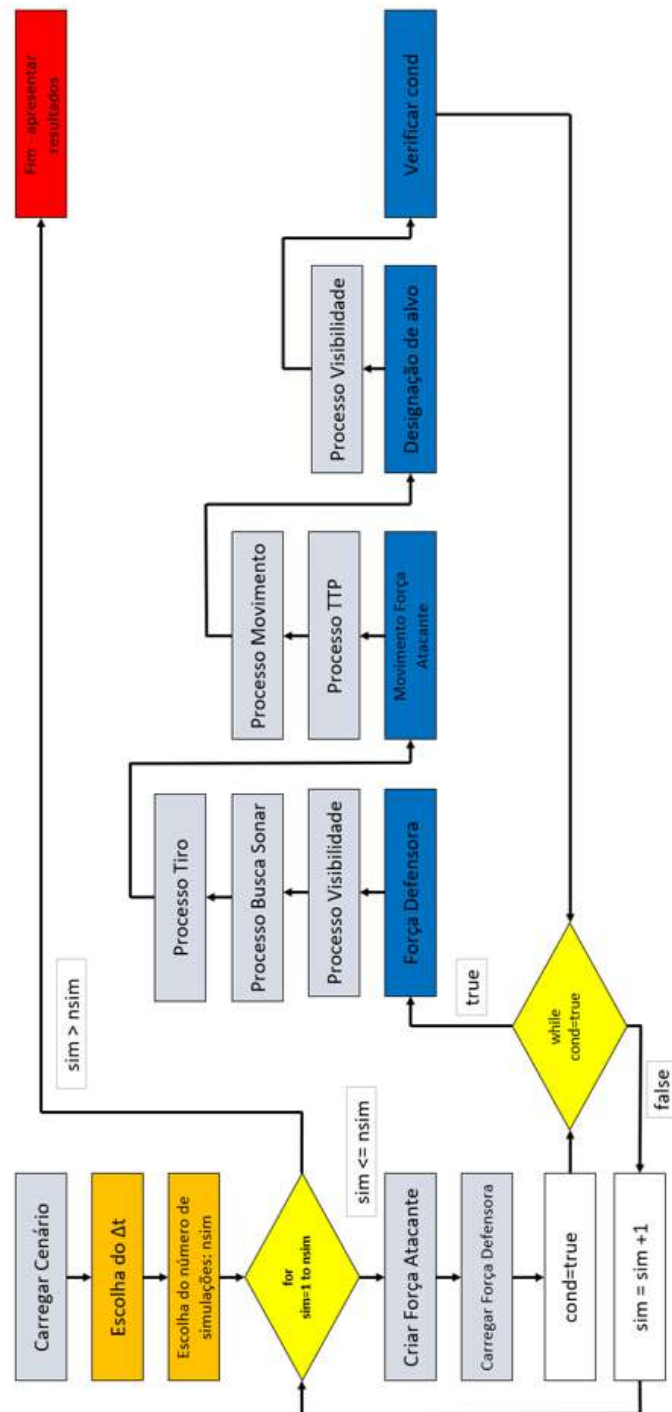


FIGURA 1.5: Fluxograma do Megaprocesso.  
Fonte: Autor.

De modo ao simulador funcionar corretamente, é necessário que o utilizador carregue o cenário, escolha o *ts* e o número de simulações que pretende correr. Em seguida, o simulador entra num ciclo “*for*” que vai desde 1 até ao número de simulações introduzidas.

Em cada ciclo, é realizado o mesmo procedimento de criar a força atacante, carregar a força defensora e enquanto for verificada a condição que permite manter a simulação a correr, é realizado um ciclo *while*. Neste ciclo, sequencialmente, é simulada a atividade da força defensora, que é materializada na realização de tiro, o movimento da força ofensiva, a designação de alvo e por fim, uma nova verificação da condição. Estes três procedimentos, representados a azul no fluxograma, são a combinação de outros procedimentos que são utilizados em vários locais do simulador. Quando a condição deixar de se verificar, a simulação termina e o ciclo reinicia para a simulação seguinte.

Por fim, são apresentados os gráficos que mostram os resultados obtidos, bem como os valores para as *Measure of Effectiveness* (MOE) escolhidas.

### 1.3.2 Desenvolvimento de cenários

Para uma correta e realista simulação, é necessário criar um cenário que muito se aproxime ao mundo real. A forma como é desenvolvido o cenário irá influenciar os resultados obtidos, como irá ser demonstrado no Capítulo 3.

Como tal, foram criadas três ferramentas que tornam o simulador *user-friendly*: Desenho do cenário, Guardar Cenário e Carregar/Apagar Cenário. Inicialmente, a criação de cenários era feita inteiramente por linhas de código, mas rapidamente chegou-se à conclusão que isso implicaria que o utilizador tivesse conhecimentos de programação e estar a par do código desenvolvido, algo que nem sempre se iria verificar. Assim, qualquer utilizador consegue desenhar o cenário diretamente no menu principal e guardar o mesmo para ser utilizado a qualquer altura.

#### Desenho do cenário

Para iniciar o desenho, é necessário ativar o modo “Editar Cenário”. Isto faz com que seja possível marcar pontos diretamente na janela de visualização.

Com a exceção da designação da posição da Força Defensora, que é feita com apenas um ponto, são sempre necessários pelo menos três pontos para fechar um polígono. Quando o utilizador fecha o polígono, é lhe dada a opção de escolher o tipo de área que acabou de desenhar e, se compatível, associar um valor à mesma.

É utilizada a seguinte simbologia, código de cores e significado para cada área:

- Área de Origem da Força Atacante – Polígono no qual são gerados os agentes da Força Atacante e definem a posição inicial dos mesmos. São gerados em posições aleatórias dentro desta área. Esta área é representada a amarelo.

- Área do Objetivo – Do ponto de vista da Força Atacante, é considerado como o destino final. É nesta área, que quando alcançada por todos os agentes, a simulação é dada como terminada. Representada a vermelho.
- Área de Trabalho 1, 2, 3 e 4 – Objetivos intermédios da Força Atacante, considerados como pontos de passagem obrigatória. Representada a branco.
- Localização da Força Defensora – Ponto que designa a posição do agente defensor, que irá ficar estático. Representado com uma cruz.
- Obstáculo – Zonas de Terreno interditas e que devem ser contornadas para permitir a progressão no terreno. Têm associadas uma altura, o que vai ter impacto direto na visibilidade. Para o cenário arborizado são preenchidas a verde de modo a representar árvores.

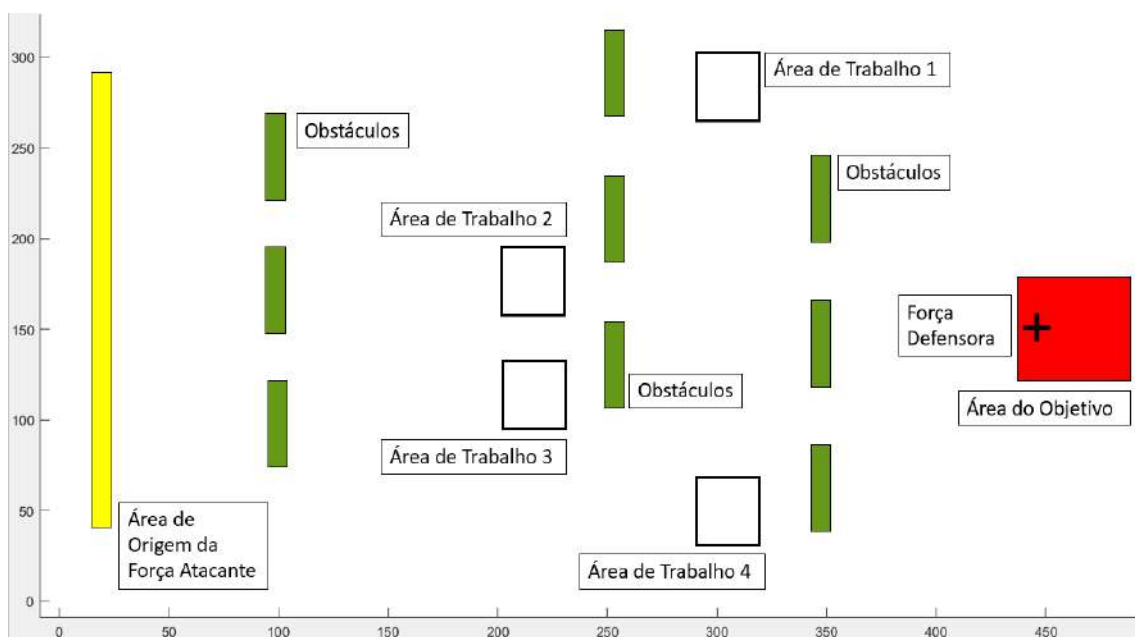


FIGURA 1.6: Simbologia utilizada no desenho de cenários.  
Fonte: Autor.

#### Guardar cenário

Uma vez concluído o desenho do cenário, é possível gravar o mesmo. É necessário introduzir um nome com o máximo de 50 caracteres e, automaticamente, é associado a data e a hora no formato “ddHHMMmmmyy” como por exemplo, 312315JAN20.

Para um cenário ser gravado, é necessário que tenham sido definidas algumas áreas obrigatórias: Área de Origem da Força Atacante, Área do Objetivo, Áreas de Trabalho e a Localização da Força Defensora. Sem elas, o simulador é incapaz de correr e é apresentada uma imagem de erro.

Os cenários são gravados numa estrutura de dados, que contém o nome, o grupo data/hora, os pontos em  $x$  e em  $y$  que definem os polígonos e o valor associado aos mesmos. Mais tarde, é utilizada a mesma estrutura para carregar o cenário.

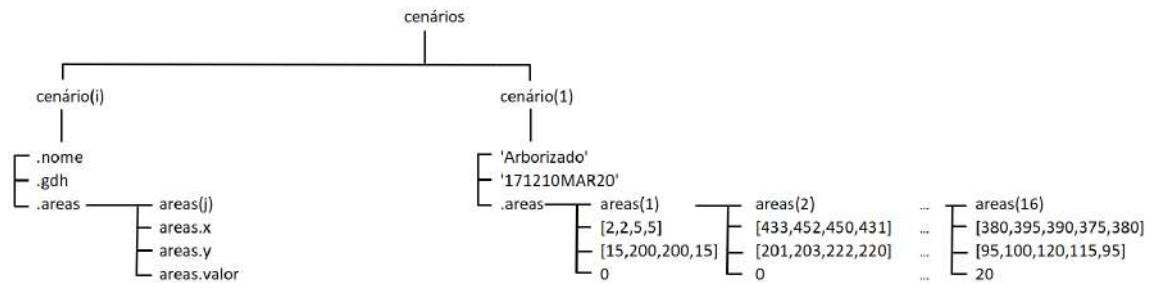


FIGURA 1.7: Estrutura de dados para armazenar os cenários.

Fonte: Autor.

Nesta estrutura, cada cenário tem um nome e um grupo data-hora de quando foi criado. O formato das áreas é gravado numa outra estrutura contida na primeira. Cada área tem um vetor para as coordenadas em  $x$ , um vetor para as coordenadas em  $y$  e um valor para cada área. Conforme se pode observar no exemplo, o cenário 01, “Arborizado”, foi gravado no dia 17 de março de 2020 às 12:10 e é composto por 16 áreas ou polígonos. A área 1 é definida por quatro pontos  $[[2, 15][2, 200][5, 200][5, 15]]$  cujo valor é 0 (zero).

### Carregar/Apagar Cenário

Para carregar ou apagar um cenário, é apresentada uma lista com todos os cenários gravados. Após o utilizador selecionar o cenário pretendido, surge uma nova janela, na qual tem a opção de carregar o cenário ou eliminar o mesmo.

Para esta função, o simulador vai buscar a informação das áreas do cenário selecionado à estrutura de dados, faz a atribuição de áreas conforme o tipo de área e atribui a cor das mesmas segundo a simbologia explicada anteriormente.

### 1.3.3 Criar força atacante

A força atacante é criada numa matriz com as dimensões de  $36 \times i$  em que  $i$  é o número total de agentes criados. A cada  $ts$  são alterados e guardados todos os valores conforme o quadro abaixo.

Alguns dos valores são inicializados a 0 (zero) e são alterados no decorrer da simulação. Outros, como é o caso do rumo e do  $z$  atual, são calculados com base noutros parâmetros ou com o recurso a outras funções. Assim, no quadro abaixo, é feita uma descrição das várias variáveis que definem a Força Atacante, e qual os valores que podem tomar, ou como são calculadas.

TABELA 1.1: Matriz Força Atacante.

Nome	Dimensão	Descrição	Valor
$marines(j,1)$	Adimensional	Id do agente	1 até $i$
$marines(j,2)$	Adimensional	$x$ atual	Aleatório dentro da área
$marines(j,3)$	Adimensional	$y$ atual	Aleatório dentro da área
$marines(j,4)$	Adimensional	Rumo atual	Função $próximo\_curso$
$marines(j,5)$	$m/s$	Velocidade atual	$marines(j,25) \times marines(j,35)$
$marines(j,6)$	Adimensional	$z$ atual	$marines(j,24) \times marines(j,14)$
$marines(j,7)$	Adimensional	$x$ do ponto de destino atual	Centro área destino
$marines(j,8)$	Adimensional	$y$ do ponto de destino atual	Centro área destino
$marines(j,9)$	Adimensional	Destino atual (Área, obstáculo, alvo)	1 ou 2 ou 3
$marines(j,10)$	Adimensional	Área de espera	$i + 2$
$marines(j,11)$	Adimensional	Identificação do obstáculo	Função $próximo\_curso$
$marines(j,12)$	Adimensional	Identificação do alvo	0 caso não haja
$marines(j,13)$	Adimensional	Área final	2
$marines(j,14)$	Adimensional	Postura (deitado, joelhos, pé)	1 ou 2 ou 3
$marines(j,15)$	Adimensional	Modo (escondido, pesquisa visual, pontaria, movimento)	1 ou 2 ou 3 ou 4
$marines(j,16)$	segundos	Tempo em pontaria	0
$marines(j,17)$	segundos	Tempo em aquisição	0
$marines(j,18)$	segundos	Tempo em detecção	0
$marines(j,19)$	segundos	Tempo alteração de postura	0
$marines(j,20)$	Adimensional	Quantidade de munições	20
$marines(j,21)$	Adimensional	Probabilidade de <i>hit</i>	0
$marines(j,22)$	Adimensional	Coeficiente de treino físico	1
$marines(j,23)$	Adimensional	Coeficiente de nível de ansiedade ( <i>Low</i> , <i>High</i> )	0.7 ou 0.47
$marines(j,24)$	metros	Altura abaixo	2.25
$marines(j,25)$	$m/s$	Velocidade a rastejar	0.6

$marines(j,26)$	Adimensional	Tipo de comportamento (Ofensivo, Defensivo)	1 ou 2
$marines(j,27)$	Adimensional	Tipo de comportamento (Emboscada, Ativo)	1 ou 2
$marines(j,28)$	Adimensional	Stress para terminar (Elevado, Baixo)	1 ou 2
$marines(j,29)$	Adimensional	Estado (Ativo, Imobilizado, em Fuga, Morto, Terminado)	1 ou 2 ou 3 ou 4 ou 5
$marines(j,30)$	Adimensional	Estado de disparo (Safo, Alvo de Disparo)	1 ou 2
$marines(j,31)$	Adimensional	Apoio para tiro ( <i>Bipode, free-hand, off-elbows</i> )	0.93 ou 0.87 ou 0.81
$marines(j,32)$	Adimensional	Posição inicial em $x$	$marines(j,2)$
$marines(j,33)$	Adimensional	Posição inicial em $y$	$marines(j,3)$
$marines(j,34)$	segundos	Tempo de alvo escondido, necessário para trocar de alvo	0
$marines(j,35)$	$m/s$	Postura para movimento (Rastejar longas distâncias, Rastejar curtas distâncias, Andar, Correr, <i>Sprint</i> )	1.16 ou 2.67 ou 3.1 ou 4.1 ou 6.25
$marines(j,36)$	Adimensional	Área de origem inicial	$marines(j, 10)$

Fonte: Autor.

### 1.3.4 Criar força defensora

A força defensora é criada de uma forma semelhante à força atacante, mas com a limitação de que, até à data, não tem tantos parâmetros nem características. Ao contrário da Força Atacante, esta força, de simulação para simulação, mantém as características iniciais, incluindo a posição de origem. Os valores descritos como “LOAD” indicam que os valores são definidos quando o cenário é carregado, uma vez que o valor para a posição e algumas das outras características são personalizáveis pelo utilizador. Mais uma vez, os valores são iniciados numa matriz 15x1 e a cada *ts* faz-se o registo das alterações.

TABELA 1.2: Matriz Força Defensora.

Nome	Dimensão	Descrição	Valor
$fuzo(j,1)$	Adimensional	Id, número único por agente	1
$fuzo(j,2)$	Adimensional	Posição de origem em $x$	LOAD
$fuzo(j,3)$	Adimensional	Posição de origem em $y$	LOAD
$fuzo(j,4)$	Adimensional	Rumo atual	0
$fuzo(j,5)$	m/s	Velocidade atual	0
$fuzo(j,6)$	metros	$z$ atual	4.685
$fuzo(j,16)$	segundos	Tempo em pontaria	0
$fuzo(j,17)$	segundos	Tempo em aquisição	0
$fuzo(j,18)$	segundos	Tempo em detecção	0
$fuzo(j,20)$	Adimensional	Número de munições	20
$fuzo(j,22)$	Adimensional	Coefficiente de treino físico	LOAD
$fuzo(j,23)$	Adimensional	Coefficiente de nível de ansiedade ( <i>Low, High</i> )	LOAD
$fuzo(j,31)$	Adimensional	Apoio para tiro ( <i>Bipode, free-hand, off-elbows</i> )	LOAD
$fuzo(j,34)$	segundos	Tempo de alvo escondido, necessário para trocar de alvo	0
$fuzo(j,37)$	segundos	Tempo em <i>reload</i>	0

Fonte: Autor.

### 1.3.5 Visibilidade

Para o cálculo da visibilidade foi utilizado o método de grade. Este método recorre a cinco passos para determinar a visibilidade entre duas posições (Martins, 2017, p. 90). É um processo altamente otimizado e que permite, de forma muito rápida, saber se um ponto é ou não visível a partir da posição de um observador, e ainda, calcular a distância entre ambos. Para este processo, utilizou-se as equações abaixo descritas, utilizado os cinco passos descritos pelo autor.

#### Passo 1

Após escolher um par de pontos  $i, j$  para obter a visibilidade entre ambos, seleciona-se a coordenada de maior variação. Para efeitos explicativos, considere-se que  $x$  é a dimensão com maior variação. Em seguida, obtém-se o gradiente, ou seja, qual a variação da coordenada  $y$  para uma variação unitária da coordenada  $x$ :

$$gradiente = \Delta y / \Delta x \quad (1.3.1)$$

Com esse gradiente, obtém-se a hipotenusa, ou a distância entre dois pontos intermédios, de um triângulo retângulo em que o lado  $\Delta x = 1$ .

$$distint = \sqrt{(gradiente^2 + \Delta x^2)} = \sqrt{(gradiente^2 + 1)} \quad (1.3.2)$$

#### Passo 2

Em seguida, encontram-se as coordenadas de um ponto intermédio,  $int$ , entre os pontos  $i$  e  $j$ , em que  $int_x$  é a soma de uma unidade à coordenada  $x$  do ponto  $j$  e  $int_y$  é a interseção entre o segmento de reta de visibilidade direta e a coordenada  $int_x$ . Obtém-se:

$$int_y = i_y + gradiente \quad (1.3.3)$$

#### Passo 3

No terceiro passo, é necessário encontrar a altitude do terreno nas coordenadas do ponto  $int$ . Utilizou-se a primeira de duas opções apresentadas, em que após arredondar  $int_x$  e  $int_y$  aos inteiros mais próximos, obtém-se a altitude do ponto com base na matriz de terreno,  $big$ :

$$int_z = big(int_x, int_y) \quad (1.3.4)$$

#### Passo 4

Encontrar a altitude da linha de visão à passagem pelo ponto  $int$ , com base na equação  $h'$ , utilizada no método polinomial (Martins, 2017, p. 89):

$$h' = d'inc_{dist} + bias_{dist} \quad (1.3.5)$$

Em seguida, calcular  $d'$ , distância euclidiana entre os pontos  $i$  e  $int$ , com base em:

$$d' = \sqrt{(i_x - int_x)^2 + (i_y - int_y)^2} \quad (1.3.6)$$

#### Passo 5

Por fim, comparar  $h'$  com  $int_z$ , em que se:

- $h' > int_z$ , então a linha de vista não é interrompida e retoma-se ao passo 2, utilizando todos os pontos intermédios. No fim, se continuar a verificar-se esta regra, considera-se que os pontos são mutuamente visíveis.



- $h' \leq int_z$ , a linha de vista é interrompida e os pontos não são visíveis entre eles.

As figuras abaixo representam o método de grade de uma forma simplificada, mas de fácil interpretação. Este método é realizado entre dois agentes, com um obstáculo entre ambos. Na primeira figura como  $h'$  é maior que a altura do terreno, considera-se que naquele ponto existe visibilidade.

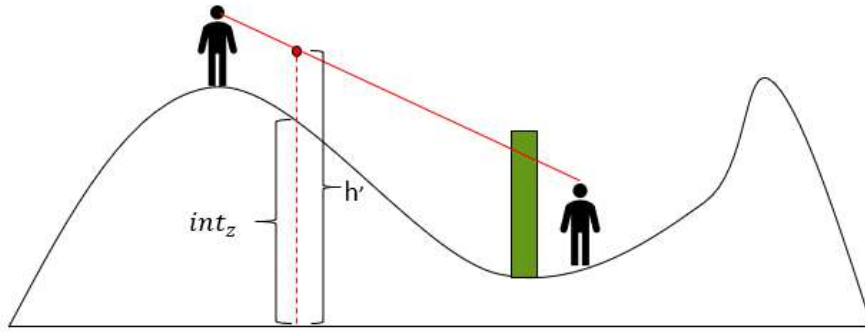


FIGURA 1.8: Representação do método de grade, ponto visível.

Fonte: Autor.

Já na segunda figura, após serem realizados mais incrementos, verifica-se que a altura do terreno, com o obstáculo, é superior à linha de vista e, portanto, os dois agentes não estão visíveis entre eles.

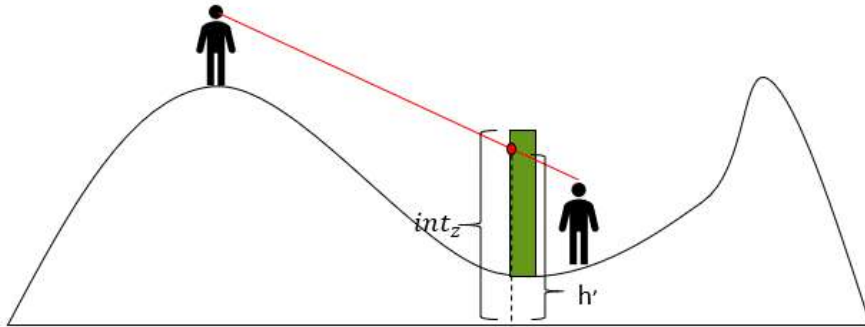


FIGURA 1.9: Representação do método de grade, ponto não-visível.

Fonte: Autor.

É possível utilizar este método para fazer um mapa de visibilidades do terreno. Aplicando as equações acima descritas, criou-se uma ferramenta que calcula a visibilidade desde o ponto de vista do agente da Força Defensora, para todos os pontos do terreno. Apresenta-se esses resultados, em que as posições visíveis são marcadas com um ponto a azul, e quando não é visível a vermelho.

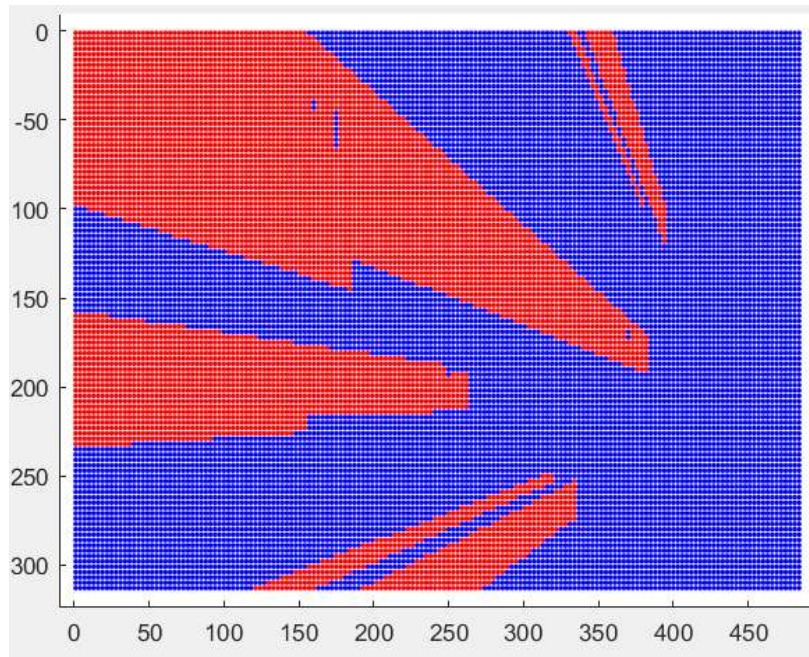


FIGURA 1.10: Exemplo do cálculo de visibilidades num cenário.  
Fonte: Autor.

### 1.3.6 Busca visual

Intitulado de “busca visual”, foram desenvolvidos dois processos distintos para representar a forma como é feita a busca visual por parte da Força Defensora. São elas uma busca em modo “radar”, que tem o seu nome por muito se assemelhar a forma como um radar faz o seu varrimento, e a outra é o modo aleatório, em que a cada  $ts$  a direção para qual é feita a visualização é alterada de forma aleatória.

Em qualquer dos modos, é feita a representação do leque de visualização, dando uma perceção para onde o agente está a olhar.

Ao juntar o ângulo de observação deste processo, com o método do cálculo de visibilidades, explicado anteriormente, é possível calcular e representar se um agente está ou não a ser detetado.

Na imagem abaixo, está uma representação da busca visual, em que se pode observar o campo de visão do agente da Força Defensiva e três agentes da Força Atacante. Um deles, com o contorno a preto, encontra-se não detetado por estar atrás de um obstáculo, um a amarelo detetado e o vermelho detetado e designado como alvo.

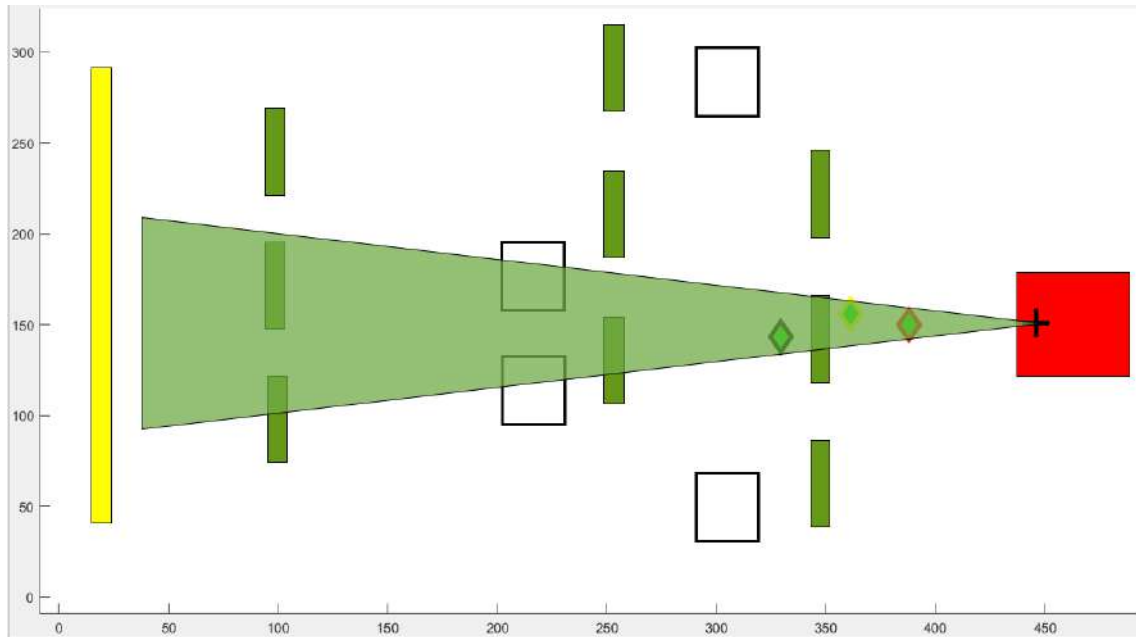


FIGURA 1.11: Representação da busca visual.  
Fonte: Autor.

#### Modo radar

Realmente, no modo “radar”, a direção que representa para onde o agente da Força Defensora está a olhar, é semelhante ao funcionamento dos radares. Sofre um incremento a cada ciclo, dando a sensação do varrimento dentro da área de busca. A direção ou ângulo, *angle*, é acrescida de um incremento, *incr*, que toma um valor positivo ou negativo, conforme o valor que *angle* toma. Caso *angle* seja igual ao limite superior, *incr* será negativo e uma vez chegado ao limite inferior, *incr* é positivo. Com isto, é possível fazer um varrimento que começa num ângulo aleatório, chega ao limite superior, inverte o sentido até ao limite inferior, volta ao limite superior, e assim sucessivamente.

#### Modo aleatório

No segundo modo de busca, o valor de *angle* é gerado de forma aleatória com valores entre o limite inferior e o limite superior. Esta alteração, no corpo humano, é feita em períodos de tempo na ordem dos microssegundos. Como tal, e não sendo viável que o simulador faça demasiados cálculos apenas para essa direção, decidiu-se que é feita á mesma velocidade que o *ts* utilizado. Assim, quanto menor for o *ts*, mais rapidamente o ângulo é alterado.

### 1.3.7 Tiro

Conforme descrito anteriormente, o processo de tiro depende de um conjunto de valores: distância ao alvo, coeficiente de treino, coeficiente de ansiedade, da área exposta e do coeficiente de apoio. Portanto, o simulador recolhe os respetivos valores à matriz Força Defensora, calcula a distância ao alvo e a área exposta, e depois de aplicar a fórmula abaixo, é dado um valor para a probabilidade de acertar no alvo.

$$probhit = \alpha qdist \times \beta qtreino \times \delta qa \times \epsilon qaexp \times \lambda qapoio \quad (1.3.7)$$

Em que *prohibit* é a probabilidade de tiro, *qdist* é o coeficiente da distância, *qtreino* é o coeficiente de treino, *qa* é o coeficiente de ansiedade, *qaexp* é o coeficiente da área exposta e *qapoio* é o coeficiente de apoio.  $\alpha, \beta, \delta, \epsilon$  e  $\lambda$  são os pesos de cada coeficiente e assumem os valores  $\frac{2}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}, \frac{1}{6}$ , respetivamente.

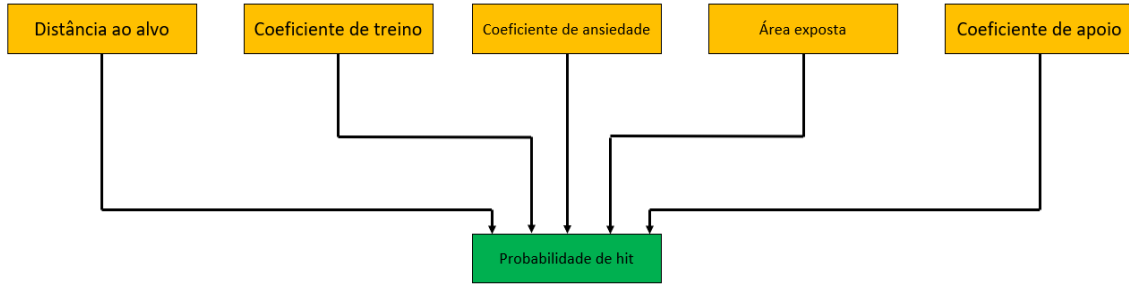


FIGURA 1.12: Fluxograma processo Tiro.  
Fonte: Autor.

### 1.3.8 Técnicas, Táticas e Procedimentos

Irá ser explicado as TTP que foram desenvolvidas para mais tarde serem testadas e avaliadas. Começou-se pelas cinco TTP principais que definem as velocidades e formas de progressão. Em seguida, são representadas as diferentes disposições e formaturas, que combinadas com as TTP anteriores irão produzir os testes a serem simulados. Por fim, é apresentado um quadro-resumo com todos os testes, bem como a forma como as TTP foram programadas para e transformadas em movimento.

#### TTP 01 – Ao assalto

Um assalto é caracterizado como o clímax de um ataque e é uma ação curta, violenta e bem organizada contra o objetivo inimigo. Nesta fase, a força atacante avança de forma decisiva e a arma é transportada em contacto efetivo. As ameaças são eliminadas em movimento e esta fase é terminada quando o objetivo é atravessado por completo (Ministério da Defesa Nacional & Marinha, 2012, pp. 8–27).

Como tal, a Força Atacante irá progredir em direção ao objetivo final garantindo que os setores de fogo se encontram todos para a frente de modo a garantir um campo de visão para o eixo de maior perigo. Assim, é possível manter um grande poder de fogo nessa direção. No entanto, a velocidade de progressão é lenta, com um valor de  $1.32 \text{ m/s}$  e como os agentes se encontram de pé, são mais facilmente detetados e tem uma maior área exposta.

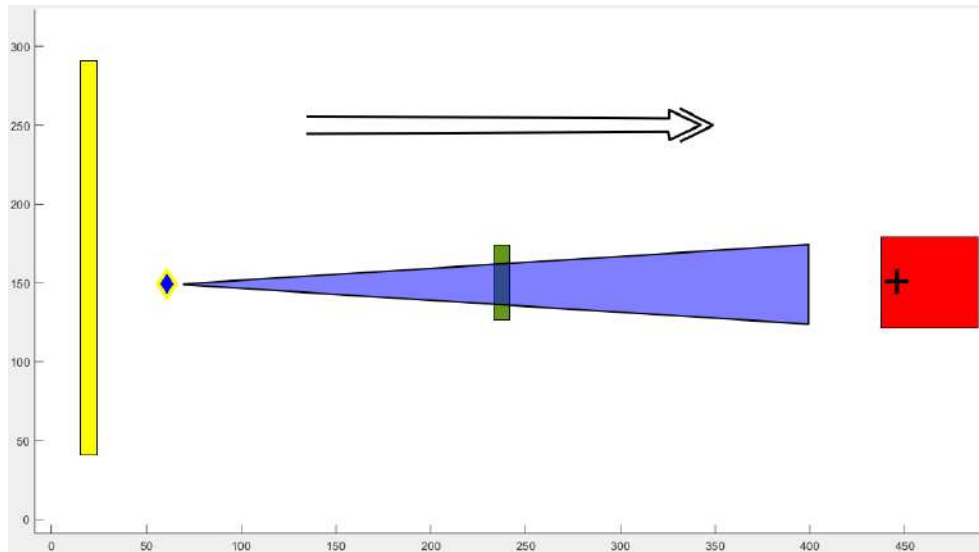


FIGURA 1.13: TTP 01.

Fonte: Autor.

Na figura acima, pode observar-se um esquema que representa a TTP 01, em que o agente da Força Atacante se desloca de pé em direção ao objetivo. Entre ambos, existe um obstáculo do tipo muro, mais baixo que o agente. Como tal, o agente pode ser detetado e alvo de fogo.

#### TTP 02 – Marcha leopardo

Na marcha leopardo, os agentes da Força Atacante alteram a sua postura e velocidade de deslocamento. Passam a progredir a rastejar, diminuindo a sua velocidade para  $0.35 \text{ m/s}$  mas deixam de estar expostos. Assim, é necessário mais tempo até atingir o objetivo final mas a progressão é feita em maior segurança.

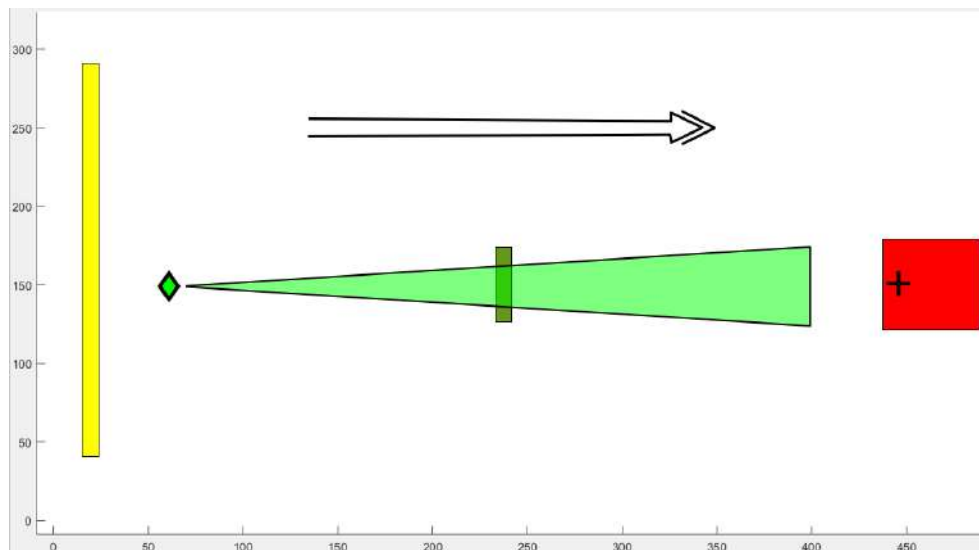


FIGURA 1.14: TTP 02.

Fonte: Autor.

### TTP 03 – Alvo em marcha leopardo

Esta TTP funciona como uma combinação das anteriores em que o deslocamento é feito com base em “Ao Assalto” até que um dos agentes é alvo de fogo. Nesse momento, o alvo altera a sua postura para marcha leopardo e faz o seu deslocamento a rastejar. Uma vez deixando de ser alvo, volta a levantar-se e retoma a marcha anterior.

Na imagem abaixo, o agente a azul encontra-se protegido por um obstáculo do tipo árvore e faz a sua progressão de pé. Já o outro agente, uma vez que está exposto e é alvo, reduz a sua silhueta e progride a rastejar. Assim, é possível reduzir a área exposta e aumentar a segurança, à custa de uma velocidade de progressão menor. Além disso, os restantes elementos continuam o seu deslocamento em segurança.

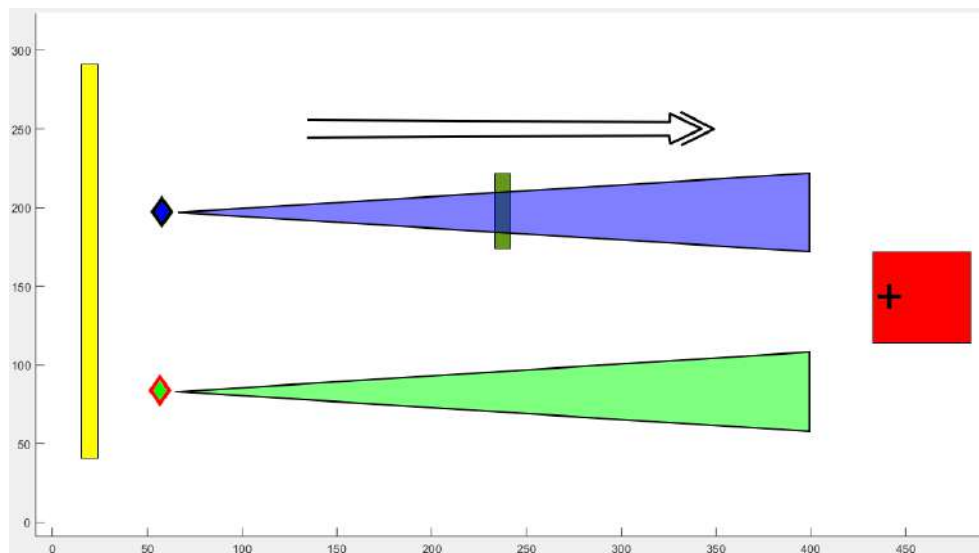


FIGURA 1.15: TTP 03.

Fonte: Autor.

### TTP 04 – Alvo em *sprint* e restante em marcha leopardo

Já nesta TTP, inverte-se o raciocínio e o elemento que é alvo passa a progredir em *sprint*, com uma velocidade de  $3.26 \text{ m/s}$ , enquanto que os restantes elementos continuam a rastejar. Isto permite diminuir o tempo exposto e mais rapidamente encontrar uma posição segura. Os restantes elementos da Força Atacante continuam abrigados e a descolarem-se lentamente.

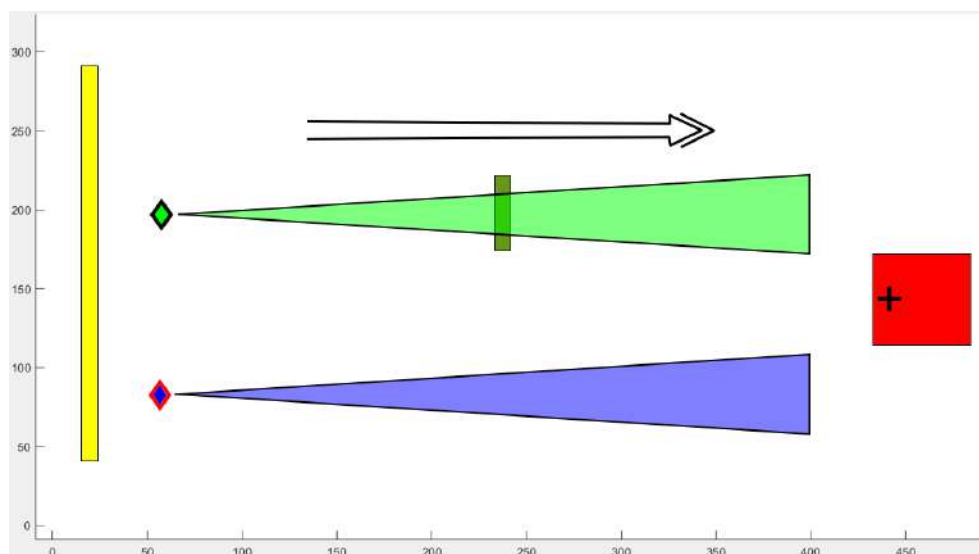


FIGURA 1.16: TTP 04.

Fonte: Autor.

#### TTP 05 – Alvo em *sprint* e restante ao assalto

Por fim, e de modo a agregar o melhor das táticas anteriores, nesta TTP todos os elementos progridem de pé em “Ao assalto”, exceto o elemento que está a ser alvo de fogo. Esse elemento começa a correr a uma velocidade de 3.26 m/s de modo a sair da zona de fogo o mais rapidamente possível. Espera-se com isto que seja uma tática mais rápida em que a segurança é feita dando primazia à velocidade com que se sai da zona de perigo.

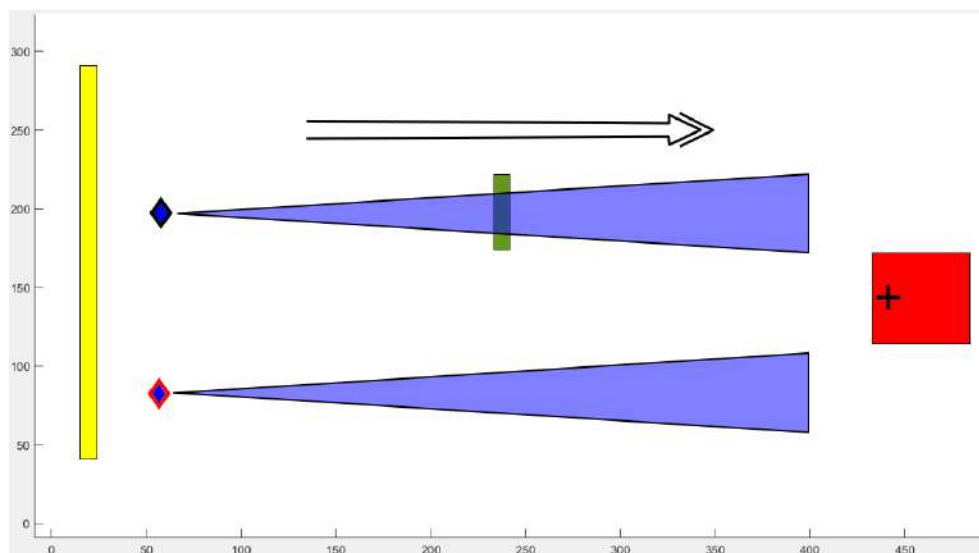


FIGURA 1.17: TTP 05.

Fonte: Autor.



### Linha

Nesta formatura, os agentes são distribuídos ao longo de uma linha perpendicular ao deslocamento desde a área de origem ao objetivo final. Dependendo da TTP escolhida, são designadas a postura e velocidade de progressão ao longo do deslocamento. Na imagem abaixo é representada a junção da Linha com a TTP 01, “Ao Assalto”.

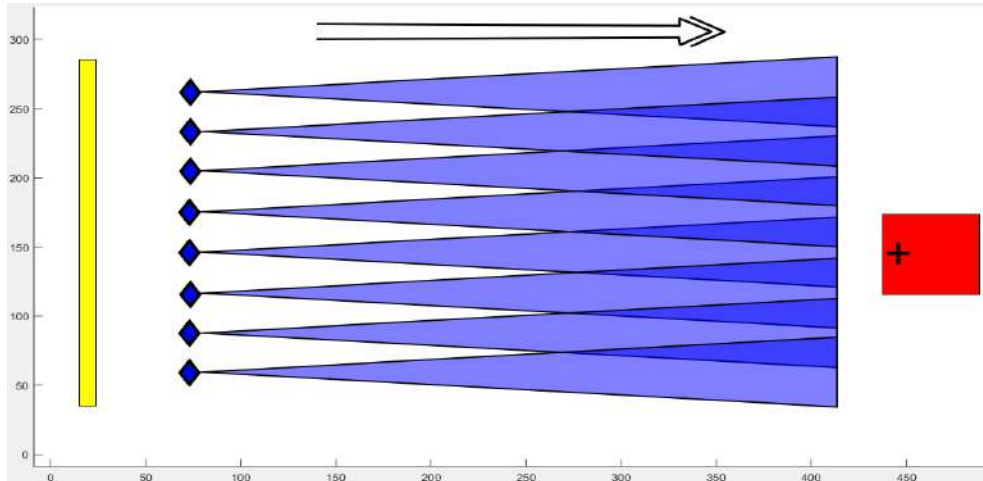


FIGURA 1.18: TTP 01 com formatura em linha.

Fonte: Autor.

### Coluna

Numa coluna, os agentes distribuem-se ao longo do eixo de progressão, diminuindo o afastamento lateral entre a secção. Este tipo de formatura é utilizado em espaços confinados e em locais onde não é possível abrir uma linha. Como é possível observar, a capacidade de fazer fogo é muito diminuída pois apenas o primeiro elemento é capaz de fazer fogo.

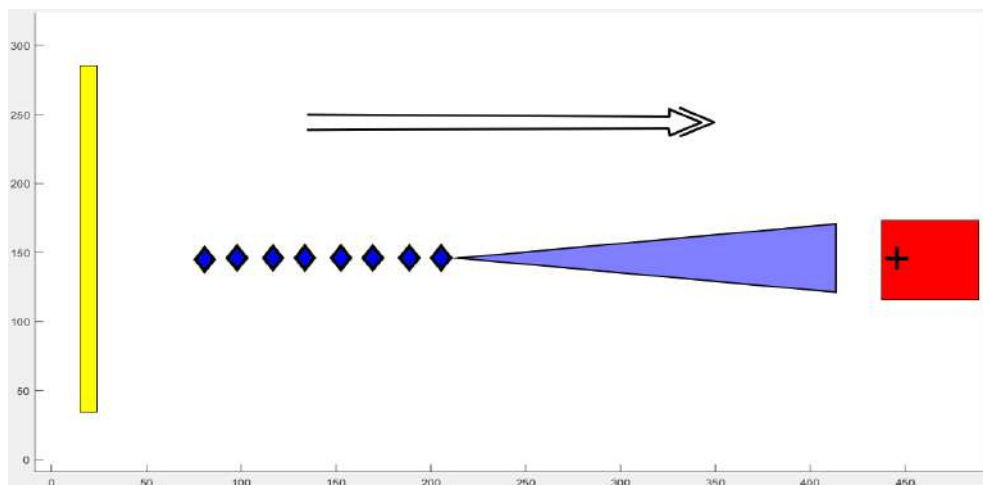


FIGURA 1.19: TTP 01 com formatura em coluna.

Fonte: Autor.



#### 02 Áreas de Trabalho

Ao criar duas áreas de trabalho, ou dois pontos de passagem obrigatórios, permite dividir a seção em duas equipas e fazer uma dispersão da força. À semelhança da “Linha” e da “Coluna”, mantém-se as velocidades e formas de progressão definidas pelas táticas, mas passa-se a fazer um envolvimento. Como tal, consegue-se criar uma maior distância entre as duas equipas o que torna o movimento mais seguro. Uma das equipas, ao ser detetada, fixa a Força Defensora e permite que a outra equipa progrida em segurança.

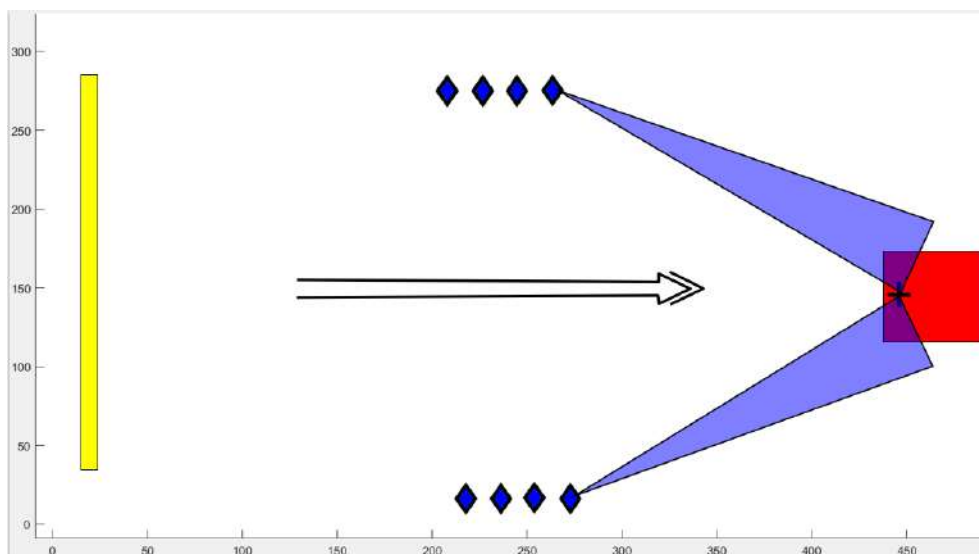


FIGURA 1.20: TTP 01 com formatura em 02 Áreas de Trabalho.

Fonte: Autor.

#### 360º

Por fim, e especificamente para o Cenário Arborizado 02, foi criada uma disposição que envolve o objetivo a 360º, sem um eixo de aproximação específico. Este procedimento dificulta em muito a atuação da Força Defensora, uma vez que tem que cobrir um setor muito grande, permitindo que os agentes que não são alvo se aproximarem com facilidade. Esta forma de aproximação irá ser testada em comparação com as demais para o segundo cenário criado.

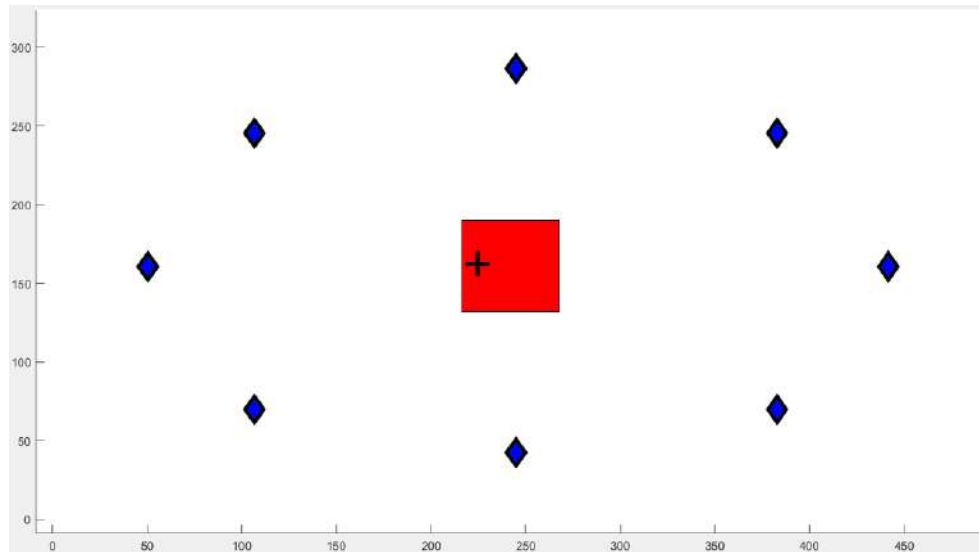


FIGURA 1.21: TTP 01 com formatura em 360º.

Fonte: Autor.

A tabela seguinte representa a postura para cada uma das táticas, bem como as velocidades de progressão e as alterações que são feitas para cada uma das condições.

É possível dividir cada tática em quatro fases distintas:

- Alvo e está de pé
- Alvo e está deitado
- Não é alvo e está de pé
- Não é alvo e está deitado

Para cada agente, conforme a tática e a situação em que se encontra, é definida uma nova postura e velocidade de progressão, de acordo com a tabela abaixo:

TABELA 1.3: Postura e velocidade de progressão para cada TTP.

TTP/ Condição	Alvo de pé		Alvo deitado		Não-Alvo de pé		Não-Alvo Deitado	
	Postura	Vel. (m/s)	Postura	Vel. (m/s)	Postura	Vel. (m/s)	Postura	Vel. (m/s)
TTP 01	Assalto	1.32	-	-	Assalto	1.32	-	-
TTP 02	-	-	Rasteja	0.35	-	-	Rasteja	0.35
TTP 03	Deita	0	Rasteja	0.88	Assalto	1.32	Levanta	0
TTP 04	<i>Sprint</i>	3.26	Levanta	0	Deita	0	Rasteja	0.35
TTP 05	<i>Sprint</i>	3.26	-	-	Assalto	1.32	-	-

Fonte: Autor.

### 1.3.9 Movimento

O processo referente ao movimento é um dos componentes mais importantes de todo o simulador. Sem ele, seria impossível obter qualquer tipo de resultados. Para este processo, foram analisados três algoritmos diferentes, cada um com as suas características próprias. Vai ser feita uma breve explicação de cada algoritmo e por fim, qual o racional para a escolha do processo utilizado.

#### Greedy

Os algoritmos de *Greedy* são utilizados em diversos problemas de otimização e combinação. São capazes de fornecer uma solução relativamente boa, de uma forma muito rápida (Cerrone, Cerulli & Golden, 2017). Apesar dos tempos de execução serem rápidos, muito raramente a solução apresentada é ótima.

Este algoritmo, quando apresentado com duas alternativas, escolhe sempre a que apresenta melhor resultados imediatos. No entanto, no caso de uma árvore de decisão, isto pode levar a caminhos menos otimizados. Por exemplo, a figura abaixo representa uma árvore de decisão com o objetivo de minimizar a soma ao longo do caminho percorrido.

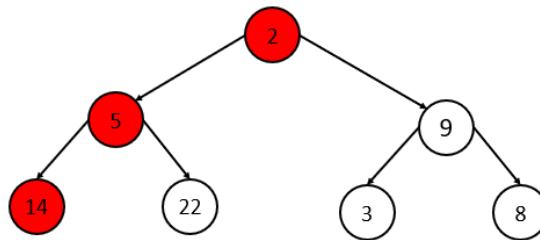


FIGURA 1.22: Algoritmo de *Greedy* em árvores de decisão.  
Fonte: Adaptado de (Simmons, Hoeppeke & Sutherland, 2019).

Pode se observar que o algoritmo de *Greedy* escolhe, passo a passo, a solução que parece ótima, mas no final obtém o valor  $21 = (2 + 5 + 14)$ , quando pelo caminho ótimo é possível obter  $14 = (2 + 9 + 3)$ .

Ao aplicar este algoritmo ao movimento dos agentes, obtém-se os resultados muito rapidamente, mas o caminho percorrido não é o mais semelhante ao comportamento humano e opta sempre pelo caminho que a cada passo parece mais curto.

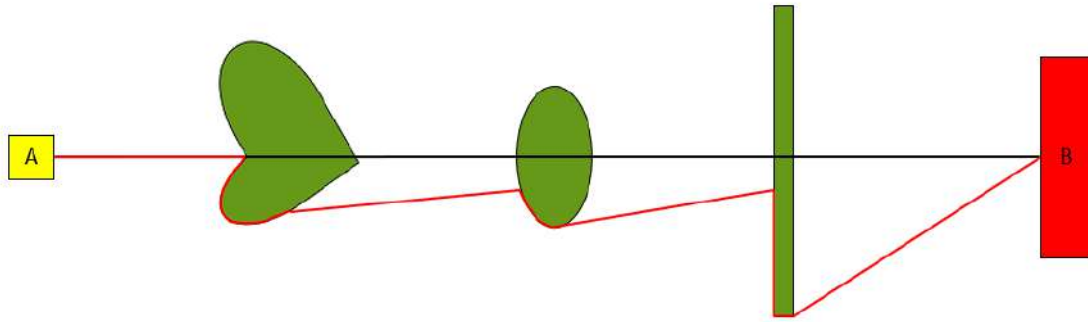


FIGURA 1.23: Algoritmo de *Greedy* aplicado ao movimento de agentes.

Fonte: Autor.

Como é possível verificar, o percurso realizado para ir da área de origem A até ao destino B, contornando os três obstáculos a verde, pouco se assemelha ao movimento de um ser humano quando este se desloca. Não obstante, a nível computacional, estes cálculos são realizados de forma muito rápida.

#### Alfa Star

O algoritmo de *Alfa Star* ( $A^*$ ) é capaz de gerar a solução ideal a partir de matrizes de dados binários (Roci & Davidrajuh, 2018). Como tal, converte o terreno que pretendemos analisar numa *grid* e atribui os valores 1 para os locais possíveis de serem percorridos e 0 para os obstáculos. Em seguida, é feito o cálculo para o caminho mais curto, através de métodos de análise operacional.

Com isto, é possível obter uma matriz com os locais considerados como obstáculos e intransitáveis, o que funciona em cenários estáticos. Para o caso de cenários em que possa haver alterações do meio ambiente, é necessário repetir este processo várias vezes, o que tornaria o simulador muito lento. Além disso, e como é possível observar na imagem abaixo, o caminho percorrido continua a não ser realista.

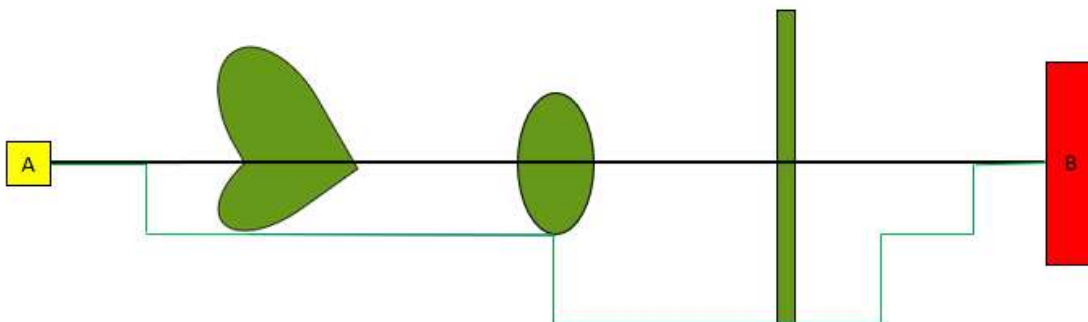


FIGURA 1.24: Algoritmo de *Alfa Star* aplicado ao movimento de agentes.

Fonte: Autor.

Método otimizado MM (Martins, 2017)

Este algoritmo, desenvolvido pelo CMG João Maia Martins, apresenta uma resolução otimizada para o movimento de agentes em terrenos com obstáculos.

Para este método, é analisado obstáculo a obstáculo qual o ponto de interseção entre uma linha imaginária desde a origem até ao destino final. Em seguida, é feito o cálculo da distância necessária de ser percorrida até deixar de existir obstrução, contornando o referido obstáculo. Por fim, verifica-se qual o caminho mais curto e qual é o ponto onde deixa de haver obstáculo. Ao contrário do algoritmo de *Greedy*, em que percorre todo o caminho, neste método os agentes vão diretamente da área de origem até esse ponto.

Como é possível observar, este método permite um caminho percorrido muito realista e suficientemente rápido para ser empregue no simulador. É de referir que quantos mais obstáculos, mais demorado é este método.

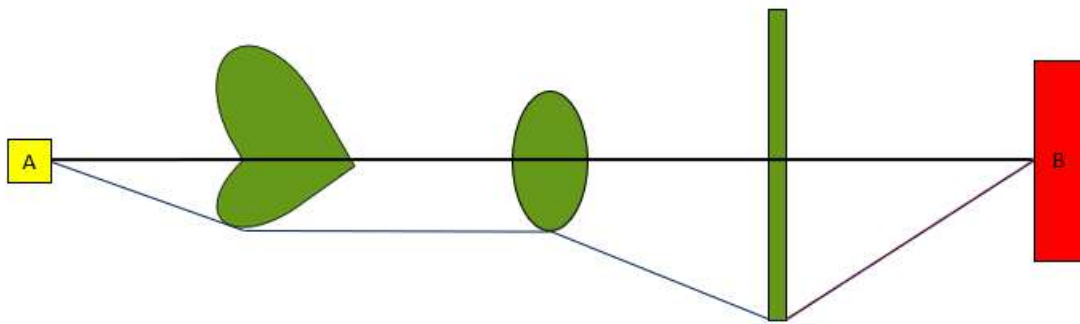


FIGURA 1.25: Método MM aplicado ao movimento de agentes.

Fonte: Autor.

O seguinte quadro resumo apresenta as vantagens e desvantagens de cada algoritmo estudado, e o racional para a escolha do mesmo. É utilizada uma simbologia de cores que vai desde o Bom (verde), Razoável (amarelo), Mau (vermelho) e é implementada uma avaliação de acordo com as mesmas. As características a verde recebem 01 (um) ponto, a amarelo 02 (dois) e a vermelho 03 (três) e no final é somado os pontos obtidos para obter um resultado final.

Algoritmo	Velocidade	Realismo	Resultado
<i>Greedy</i>	1	3	4
Alfa*	2	3	5
MM	2	1	3

FIGURA 1.26: Quadro resumo dos algoritmos para o movimento de agentes.

Fonte: Autor.

Para além de ser um método rápido o suficiente para ser empregue, o método MM é o mais realista de todos e o escolhido para ser a base para o movimento dos agentes. É através deste método que são criadas as funções *próximo\_curso* e *procurar\_caminho*, que indicam o local de destino e o rumo a seguir.

### 1.3.10 Verificar condição

Tal como representado no fluxograma do megaprocesso, o último passo do ciclo é verificar se estão estabelecidas as condições para terminar a simulação. Assim, foram definidos três critérios e quando um deles é verificado, a simulação é interrompida e dada como terminada.

- Todos os agentes da Força Ofensiva dados como mortos
- Todos os agentes vivos terminaram a missão com sucesso
- Quando a duração da simulação é superior ao tempo limite estabelecido

Como tal, criou-se a seguinte condição:

*If contador\_nvivos = 0 V contador\_terminados = contador\_nvivos*

*V contador\_tempo > duracao*

*Then cond = false*

*Else cond = true*

*Endif*

Assim, garante-se que se for testada alguma TTP em que não seja cumprida a missão ou em que a Força Defensiva não seja capaz de eliminar todos os agentes, o simulador não fica a correr infinitamente. Quando é atingido o tempo máximo (1 hora simulada), a simulação é dada como concluída.

### 1.3.11 Processo Força Defensora

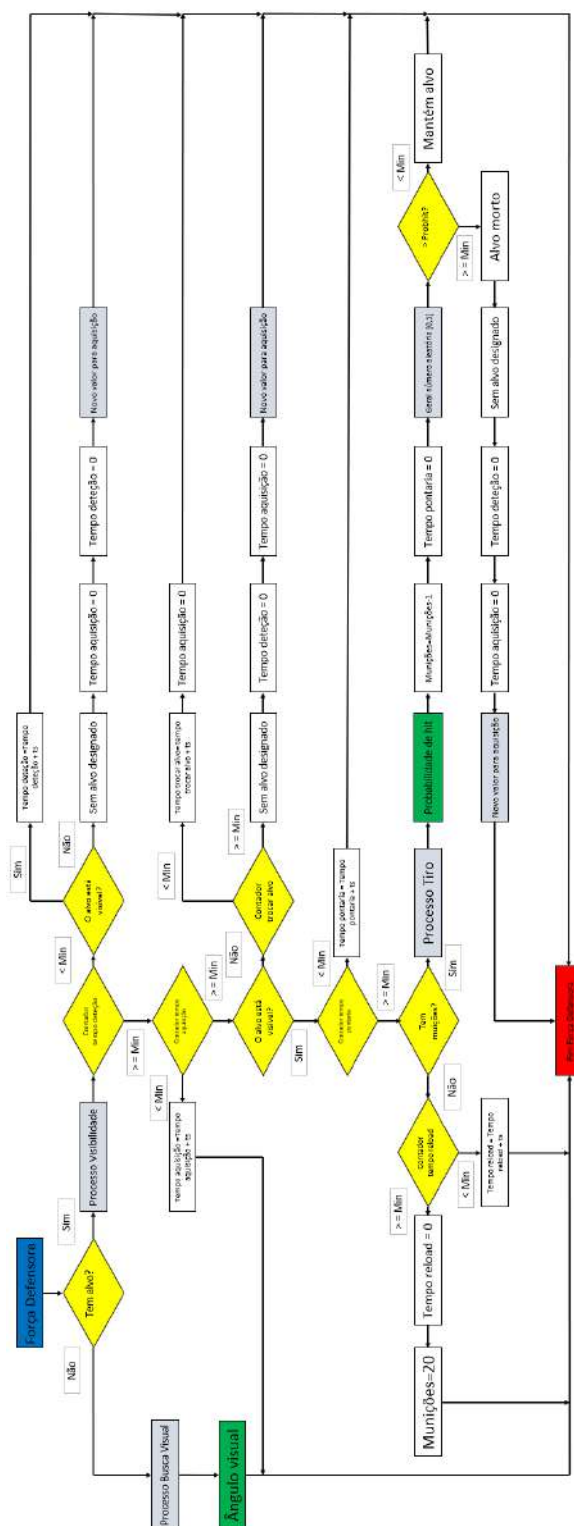


FIGURA 1.27: Fluxograma Força Defensora.  
Fonte: Autor.

O processo referente à Força Defensora é, essencialmente, um complexo sistema de condições e contadores de tempo. À medida que as condições são ou não verificadas é dado início à contagem do tempo necessário para serem realizadas as determinadas ações. Naturalmente, este processo depende muito do *time-step* utilizado.

É iniciado com a verificação da designação de alvo. Caso o agente da Força Defensora não tenha nenhum alvo, é realizado o processo de busca visual e é definido um novo ângulo que determina o setor para onde o agente está a observar. Caso exista um alvo designado, é verificada a visibilidade sobre o mesmo.

É iniciado o primeiro contador, o contador para o tempo de deteção, que conta o tempo necessário esperar entre um agente ser dado como alvo designado e efetivamente ser detetado. Durante esse tempo, enquanto o alvo está visível, o tempo de deteção continua a contar e, uma vez atingido o tempo mínimo, é iniciado o contador para o tempo de aquisição. Caso o alvo deixe de estar visível, perde-se o alvo, o agente defensor fica sem alvo designado e são reiniciados os contadores.

Durante a aquisição, o contador continua a contar até ser atingido o tempo mínimo. Na eventualidade de o alvo deixar de estar visível nesta fase, é iniciado um outro contador, o contador para trocar de alvo. Este contador determina o tempo necessário para o agente defensor dar um alvo como perdido após o deixar de ver. Quando o contador atinge o seu valor máximo, o alvo é perdido e todos os contadores são zerados. Na eventualidade de nesse tempo o alvo voltar a estar visível, o tempo de aquisição retoma o seu valor anterior e continua a ser feita a contagem do tempo.

Uma vez atingido o tempo de aquisição, inicia-se o tempo de pontaria. Na situação de o alvo deixar de estar visível durante este contador, a semelhança do tempo de aquisição, é ativado o contador para trocar de alvo. Quando é feito o tempo de pontaria, é questionado ao agente se tem munições necessárias para fazer tiro.

Caso não tenha munições, é iniciado o contador que simula o tempo necessário para recarregar e, uma vez esse tempo ser atingido, o agente recebe as munições que forem designadas. No caso de ainda dispor de pelo menos uma munição, inicia-se o processo de tiro.

No processo de tiro, é calculada uma probabilidade de *hit*, ou a probabilidade de o tiro ser certo. De qualquer das formas, é gasta uma munição e é reiniciado o contador da pontaria. Nas situações em que o tiro não é certo, o agente mantém o alvo e, quando o tiro é certo, o alvo é dado como morto, deixa de existir alvo designado e são reiniciados todos os outros contadores, dando por terminado o processo da Força Defensora.



### 1.3.12 Processo Força Atacante

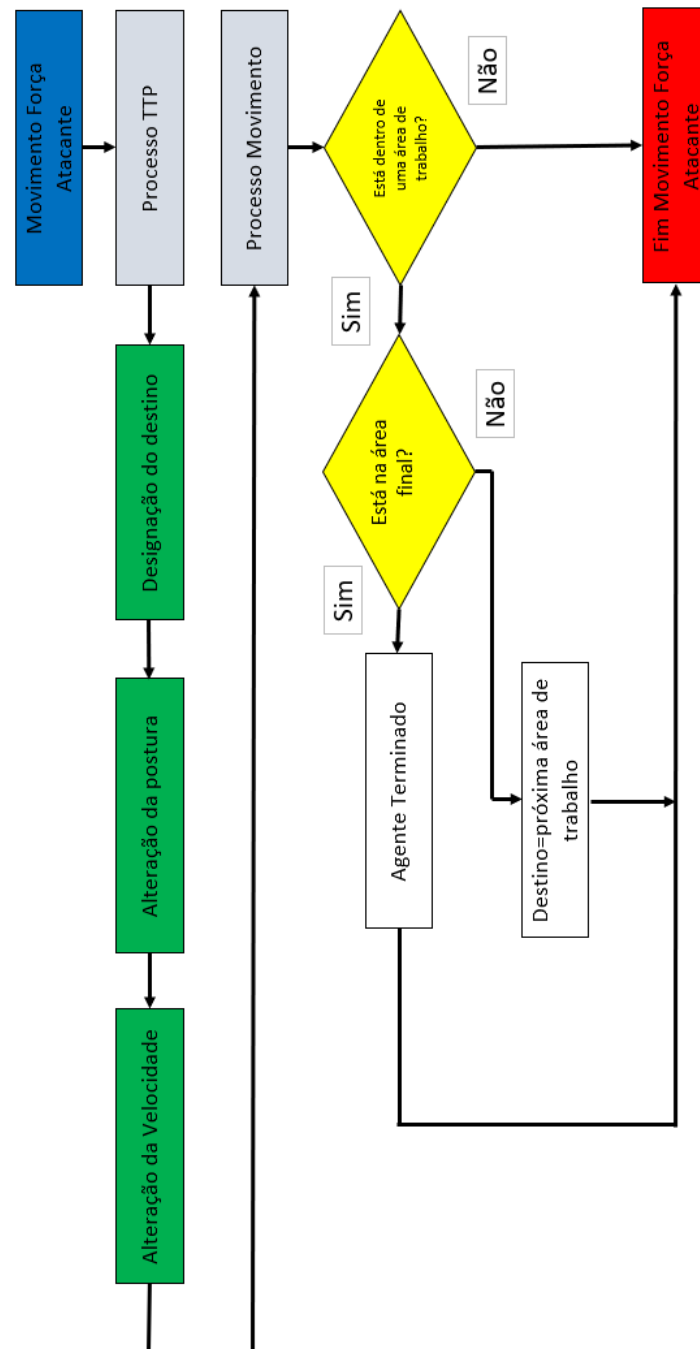


FIGURA 1.28: Fluxograma Movimento Força Atacante.  
Fonte: Autor.

O processo referente ao movimento efetuado por parte da Força Atacante faz proveito dos processos anteriormente explicados, nomeadamente dos *outputs* referentes as TTP e do movimento propriamente dito.

Inicialmente, o processo TTP, após verificar o estado em que o agente se encontra, faz uma designação do destino do agente, a postura a ser implementada e determina a velocidade de progressão. Estes três *outputs*, quando combinados com o algoritmo de movimento, produzem deslocamento no agente.

Em seguida, são verificadas duas condições. Primeiro, se o agente se encontra dentro de alguma área de trabalho. Caso negativo, o processo é dado como terminado e o ciclo prossegue. Caso positivo, é verificada a segunda condição: O agente está na área de trabalho final? Se sim, o agente é dado como terminado e o ciclo termina. Caso tal não se verifique, significa que o agente se encontra numa área de trabalho intermédia e é dado como próximo destino a área de trabalho seguinte.

Este processo é repetido para todos agentes que se encontrem vivos e em situação não-terminado. Uma vez todos os agentes da Força Atacante terem terminado o seu movimento, o ciclo é concluído e inicia-se o próximo processo, Designação de Alvo.

### 1.3.13 Processo Designação de Alvo

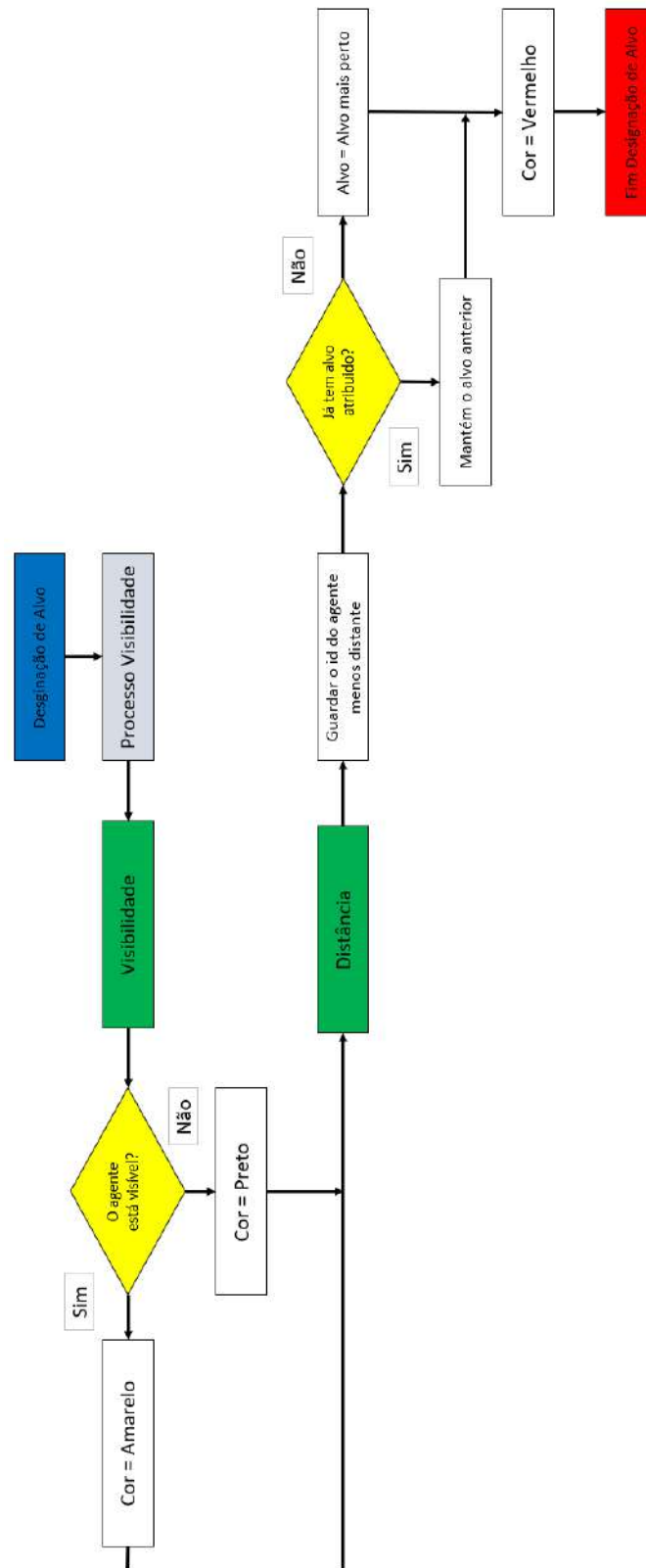


FIGURA 1.29: Fluxograma Designação de Alvo.  
Fonte: Autor.

A Designação de Alvo é o último passo de cada ciclo e é onde é definido qual o alvo da Força Defensora para a próxima iteração. Uma vez todos os agentes terem feito o seu movimento, é possível verificar, seguindo algumas regras, se existem agentes em condições de serem alvos. Além disso, é feita a resolução de conflitos ou a identificação da prioridade de alvo caso haja mais que um agente nas referidas condições.

Inicia com o processo Visibilidade, que indica se os agentes da Força Atacante estão ou não visíveis e é feita uma identificação por cores em que os agentes que estão fora da linha de vista são desenhados a preto e os que estão visíveis e dentro do campo de visão da Força Defensora, a amarelo.

Em seguida, e também pelo processo Visibilidade, é obtida a distância entre a Força Defensora e o agente visível. É guardado a identificação do agente que se encontra mais perto, identificação esta que irá servir para designar o próximo alvo. Este processo é, à semelhança dos anteriores, repetido para todos os agentes vivos, um após o outro.

Obtida a identificação, questiona-se a Força Defensora se no ciclo anterior já tinha algum alvo designado. Em caso positivo, mantém-se o alvo anterior. Em caso negativo, o novo alvo passa a ser o agente identificado no passo anterior e é desenhado a vermelho.

Assim, é feita a designação de alvo e o ciclo é terminado e segue-se para a verificação da condição, que irá determinar se é iniciado um novo ciclo ou se a simulação é terminada.

## **1.4 Simulador**

Neste subcapítulo irão ser apresentados os produtos resultantes da incorporação dos modelos e processos anteriormente desenvolvidos. Além disso, é explicado o funcionamento das ferramentas, o que não só permite ajudar a compreender como foram obtidos os resultados que irão ser demonstrados no Capítulo 3, mas também como um manual de instruções para que seja possível recorrer a este simulador para futuros trabalhos.

### **1.4.1 Menu principal**

É neste menu que o utilizador consegue desenhar o seu cenário, configurar as variáveis e características dos agentes e observar o decorrer das simulações. Na janela de visualização é onde são mostradas as posições de todos os agentes, bem como o rumo, destino, obstáculos, o caminho percorrido e a designação de alvos, e também onde é feita toda a construção do cenário.

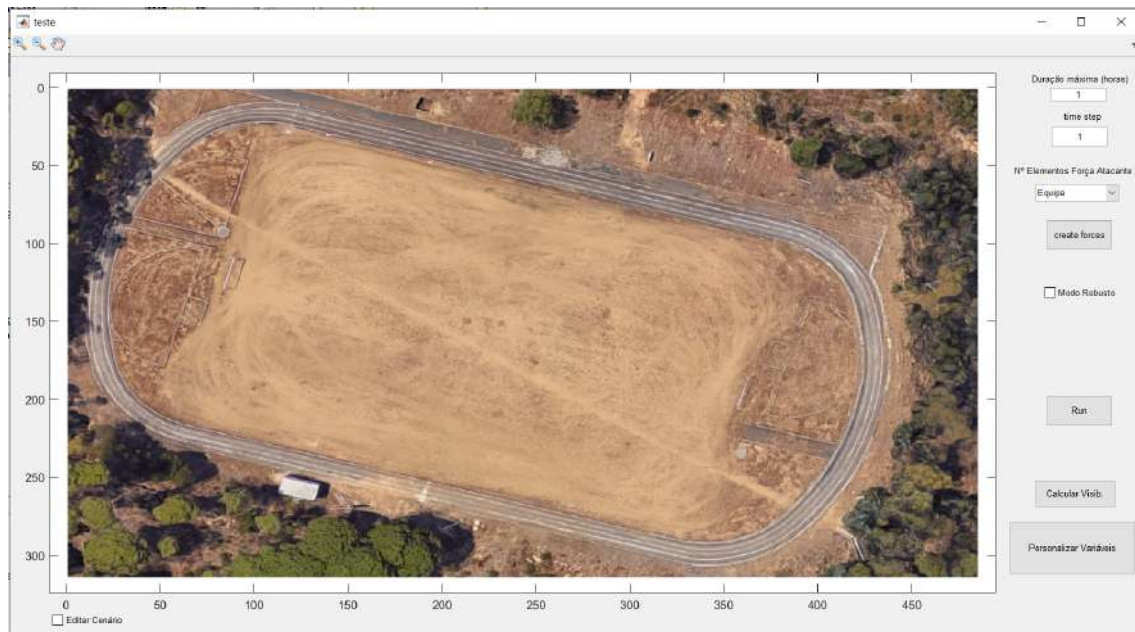


FIGURA 1.30: Menu principal DART-T.

Fonte: Autor.

Escolha do time-step<sup>4</sup> – Este input, designa de quanto em quanto tempo são realizados os cálculos para as simulações, e quanto tempo é simulado em cada ciclo. Valores muito baixos permitem resultados rigorosos, mas por outro lado demorados. Valores muito elevados apresentam resultados imprecisos, mas que não necessitam de tanto tempo para realizar a simulação. É de carácter obrigatório e caso o utilizador não faça nenhuma alteração, vem pré-definido para 01 segundos.

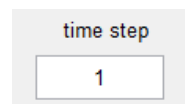


FIGURA 1.31: Caixa para escolha do *time-step*.

Fonte: Autor.

Criar Força Atacante – Permite ao utilizador definir o quantitativo de elementos que compõem a Força Atacante. Os quantitativos estão divididos conforme os menores escalões de comando das Forças de Fuzileiros, equipa e secção. Está automaticamente associado que a uma equipa correspondem 04 elementos e a uma secção 08 elementos.

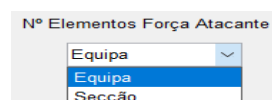


FIGURA 1.32: Escolha do número de elementos da Força Atacante.

Fonte: Autor.

<sup>4</sup> A temática do time-step irá ser abordado mais adiante, dado que a sua escolha tem impacto direto nos resultados obtidos e como tal foi necessário realizar alguns testes até obter o valor mais correto.

Modo robusto – Quando ativado, desativa todo o tipo de representações gráficas, e ativa a opção de escolha do número de simulações sucessivas que podem ser feitas. Isto permite reduzir o esforço computacional e obter resultados mais rapidamente.

- Nº de simulações – À semelhança do ts, o número de simulações deverá ser escolhido com rigor para permitir um resultado robusto. Designa o número de vezes que cada TTP é experimentada.

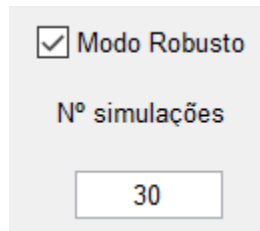


FIGURA 1.33: Modo robusto ativado e escolha do número de simulações.

Fonte: Autor.

Editar Cenário – Depois de ativada, permite ao utilizador editar o cenário, construindo obstáculos, designar as posições e alvos diretamente em cima do terreno.

- Save – Guarda o cenário desenhado, permitindo utilizar o mesmo posteriormente, sem a necessidade de o voltar a construir.
- Load/Delete – Apresenta os cenários gravados e permite carregar ou eliminar os mesmos.
- Clear – Apaga a área de trabalho para permitir construir o cenário de raiz.



FIGURA 1.34: Botão para personalizar variáveis.

Fonte: Autor.

Personalizar variáveis – Abre uma nova janela na qual é possível alterar os valores associados às variáveis que designam as características dos agentes.

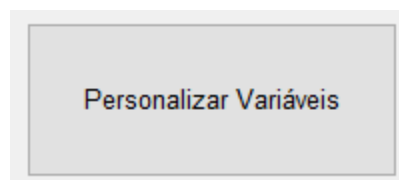


FIGURA 1.35: Botão para personalizar variáveis.

Fonte: Autor.

**variaveis**

Variável: Tipo de Busca

Valor: Aleatório, Radar

Personalizar: 1

Inserir

Unidades Adimensional

Forma como é feita a busca visual

Variavel	Valor
Treino	0.7900
Ansiedade	0.4700
Apoio	0.8700
Equipame...	10
Tipo Busca	1

FIGURA 1.36: Janela para editar as variáveis.

Fonte: Autor.

Calcular Visibilidade – Executa um processo que calcula a visibilidade para todo o terreno do ponto de vista da Força Defensora. Permite ao utilizador visualizar os setores de sombra do terreno e compreender melhor o cenário criado.

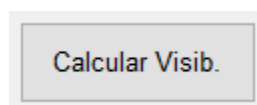


FIGURA 1.37: Botão para cálculo de visibilidades.

Fonte: Autor.

Run – Corre o simulador com os valores previamente introduzidos e, no fim, apresenta os resultados obtidos.

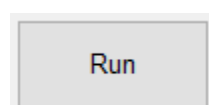


FIGURA 1.38: Botão que dará início à simulação.

Fonte: Autor.










	Objetivo
	Agente não detetado, fora do campo de visão
	Agente detetado, dentro do campo de visão
	Alvo
	Agente morto
	Tipo de postura, em pé
	Tipo de postura, deitado
	Posição do agente quando foi efetuado um tiro
	Caminho percorrido pelo agente

FIGURA 1.39: Legenda dos símbolos representados na janela de visualização.

Fonte: Autor.

### 1.4.2 Produtos resultantes

Entre cada simulação, são obtidos diversos valores que quando compilados, são capazes de fornecer resultados muito precisos. Nomeadamente, são guardados num ficheiro “.mat” o número de agentes que terminam a missão, a duração da mesma, o número de tiros efetuados e quantos destes acertaram no alvo.

Como tal, é possível representar graficamente os resultados obtidos e verifica-se que simulação após simulação os resultados começam a tender para um valor, valor este que é fixo. De facto, utilizando a fórmula para o cálculo de *Mean Square Successive Difference* (MSSD), é possível observar a forma como os resultados evoluem e perceber a partir de quantas iterações conseguimos um resultado robusto e preciso.

Obtém-se sucessivas médias ( $\mu_k$ ), guardando apenas o número de iterações ( $k$ ) e o valor da média anterior ( $\mu_{k-1}$ ):

$$\mu_k = \mu_{k-1} + \frac{x_k - \mu_{k-1}}{k} \quad (1.4.1)$$

Em que  $x$  é o novo valor a acrescentar, na iteração  $k$ .

Após representar estes valores num gráfico, fica perceptível qual o número de simulações necessárias para que os resultados comecem a convergir para um determinado valor.



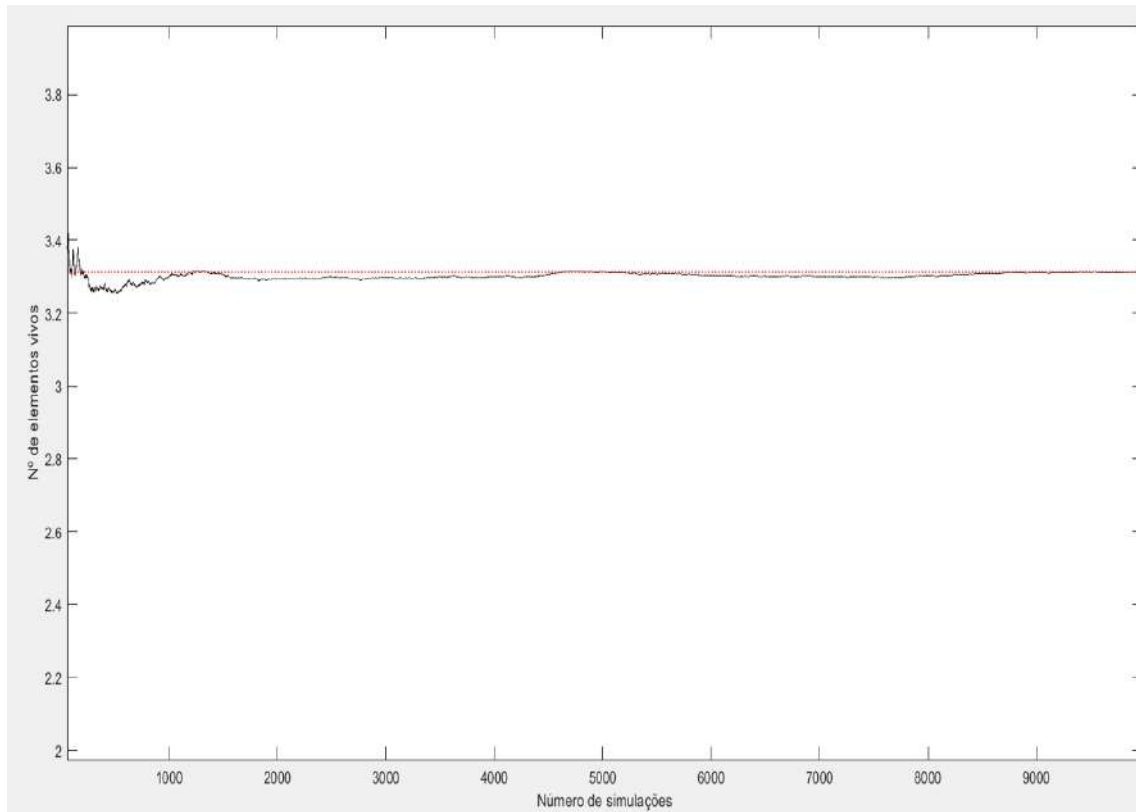


FIGURA 1.40: Gráfico de médias sucessivas para o número de elementos vivos.

Fonte: Autor.

Na imagem acima, encontra-se o gráfico resultante após serem realizadas 10000 simulações em que foram registados o número de elementos vivos que concluem a missão com sucesso. É possível observar que nas primeiras iterações os resultados variam de forma abrupta, mas que a partir das 1500 simulações os resultados rapidamente estabilizam para o valor 3.31409. Conclui-se, portanto, que são necessárias 1500 simulações de modo a garantir resultados precisos e uma vez que a partir desse número os resultados não sofrem grandes alterações, assume-se que a precisão é suficiente, deixando de ser necessário fazer novas iterações.

Este método pode ser utilizado para a média de agentes que terminam a missão com sucesso, mas também para os demais resultados que possam ser pertinentes, como é o caso da precisão de tiro. Observe-se na imagem abaixo que apesar de o processo de tiro depender de um conjunto de valores aleatórios, ao fim de algumas simulações consegue-se obter um valor concreto para a precisão de tiro do agente.

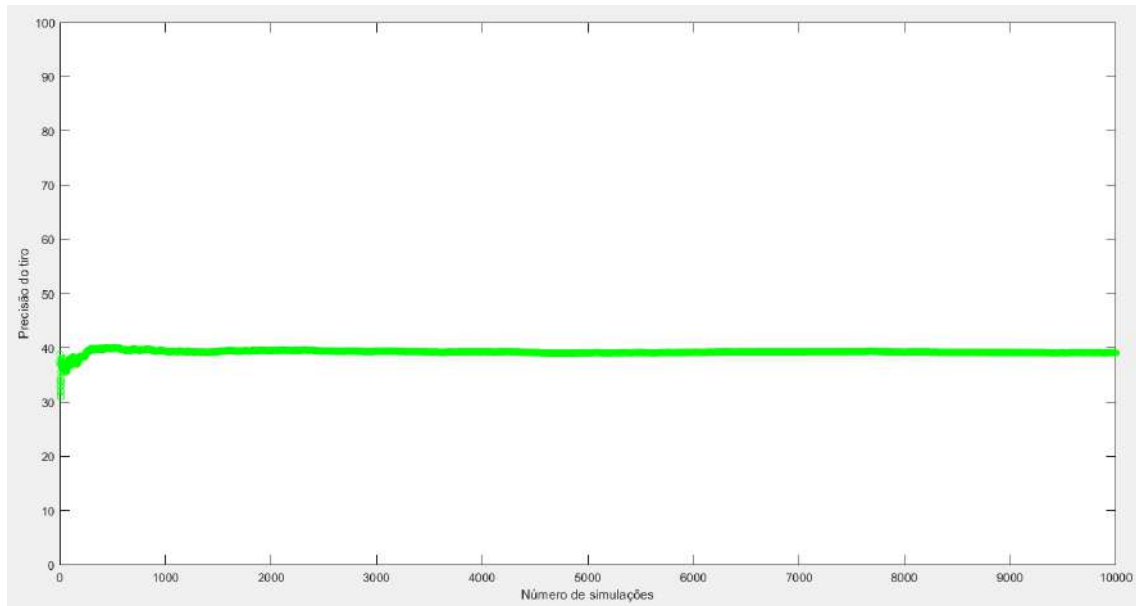


FIGURA 1.41: Gráfico de médias sucessivas para a precisão de tiro.  
Fonte: Autor.

Note-se que muito rapidamente é atingido um valor constante para a precisão de tiro cujo valor é de 39.0661.

Outra forma de representar os valores obtidos, é através de um *Scatter Plot*. Utilizando as ferramentas do *Orange*, pode-se ter uma melhor percepção dos resultados de cada TTP. Isto permite criar um referencial, que após dividido em quadrantes, apresenta as melhores táticas a serem empregues, conforme a finalidade e o objetivo de cada operação.

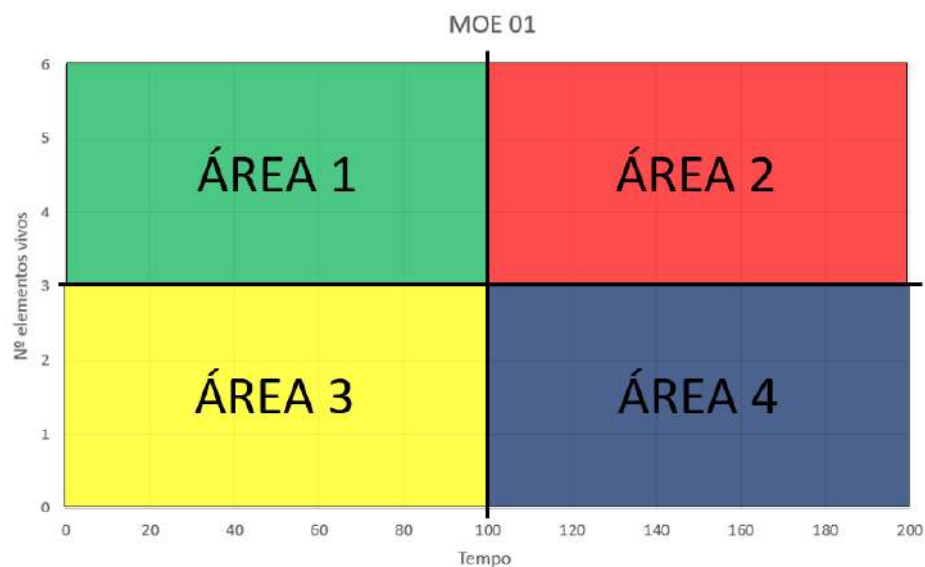


FIGURA 1.42: Gráfico representativo para as diferentes áreas de desempenho.  
Fonte: Autor.

Torna-se evidente que após analisar a posição de cada TTP num gráfico como o da imagem acima, é possível dividir os resultados por quatro áreas. Após centenas de simulações, os resultados irão estar concentrados e agrupados, podendo classificar cada TTP conforme a sua eficácia e/ou eficiência. Após uma breve análise pode-se retirar algumas conclusões acerca da área 1 e da área 4.

Na área 1, as TTP apresentam os melhores resultados uma vez que são as que demoram menos tempo até atingir o objetivo e são as que tem menos baixas.

Na área 4, as TTP para além de terem poucos elementos que terminam a missão vivos (com sucesso), são as mais demoradas.

No entanto, as TTP que se enquadram na área 2 e 3 carecem de uma análise mais profunda, uma vez que os resultados não são tão conclusivos. É erróneo fazer conclusões apenas de forma analítica. O facto de ter mais elementos vivos em detrimento do tempo necessário para concluir a missão nem sempre é o mais correto. Determinadas ações táticas carecem de ações rápidas e que têm que ser executadas em um curto espaço de tempo. Por outro lado, existem situações em que a salvaguarda do pessoal é mais importante que o tempo que se demora até se conseguir os objetivos pretendidos. As medidas de sucesso variam de situação para situação e de cenário para cenário.

## 1.5 Indicadores de desempenho (*Key Performance Indicators*)

Os indicadores de desempenho, ou *Key Performance Indicators* (KPI) são utilizados pela gestão de empresas para monitorizar o desempenho nas suas organizações. Estes indicadores são um elemento crítico para apurar o nível de realização dentro das empresas e são uma forma de quantificar objetivamente os resultados realizados (Caldeira, 2012).

A título de exemplo, um indicador utilizado no decorrer dos projetos é a percentagem da execução física do projeto. Com este, pretende-se perceber em que fase é que um trabalho se encontra e se um grupo-trabalho está adiantado, atrasado ou em cima do planeamento. É calculado pela seguinte fórmula (Caldeira, 2012):

$$\frac{\text{Duração das tarefas já concluídas}}{\text{Duração total das tarefas do projeto}} \times 100 \quad (1.5.1)$$

Do ponto de vista militar, os indicadores de desempenho avaliam o progresso e os efeitos verificados em comparação com os efeitos planeados (NATO Standardization agency, 2010, p. 5-21). É assim, um critério utilizado para avaliar os efeitos e as capacidades ao longo do tempo. Como tal, a escolha das medidas de eficácia (*Measure of Effectiveness*) apropriadas é uma tarefa complicada pois nem sempre é fácil decidir o que deve ser avaliado nem como avaliar (Westpahl & Guffey, 2014).

- Segundo o Center of Naval Analysis (CNA), algumas MOE podem ser:

- Número de agentes mortos;
- Número de agentes inimigos mortos;
- *Loss Exchange Ratio* (LER) – Agentes mortos a dividir por agentes inimigos mortos;
- Tempo para cumprir com a missão;
- Número de *Blue-on-blue* (BOB) – fratricídio;
- Número de não-combatentes mortos.

Assim, e com base na lista acima, foram escolhidas quatro MOE que pretendem avaliar ações do nível operacional e tático. Derivado ao facto de algumas MOE anteriores não terem aplicação direta neste trabalho, algumas medidas foram adaptadas às necessidades verificadas.

- MOE 01 – Número de elementos que terminam a missão em função do tempo necessário para realizar a missão;
- MOE 02 – Número de simulações em que terminam com sucesso um número suficiente de agentes para possíveis ações subsequentes;
- MOE 03 – Número de tiros realizados;
- MOE 04 – Precisão de tiro.

MOE 01 – Ao dividir o número de elementos que terminam a missão pela duração da missão, é possível obter um valor adimensional que pode ser utilizado como um valor para comparar a eficácia de diferentes TTP. Para isso, é calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$MOE01 = \frac{\text{Média de elementos vivos}}{\text{Média do tempo decorrido}} \quad (1.5.2)$$

Seja *sim* o número da simulação, seja *nsim* o número total de simulações, seja *contador\_nvivos* o número de elementos vivos em *sim* e *contador\_tempo* o tempo decorrido até a simulação *sim* ser concluída, então:

$$\text{Média de elementos vivos} = \frac{\sum_{sim}^{nsim} \text{contador\_nvivos}}{nsim} \quad (1.5.3)$$

e

$$\text{Média do tempo decorrido} = \frac{\sum_{sim}^{nsim} \text{contador\_tempo}}{nsim} \quad (1.5.4)$$

MOE 02 – Outra forma de medir o desempenho de uma tática, é através da análise do número de simulações em que chegam ao objetivo um número suficiente de agentes. Parte-se do pressuposto que para manter um potencial de combate superior e que permita a realização de ações subsequentes, são necessários pelo menos 04 agentes, o que corresponde a pelo menos uma equipa. Como tal, é somado o número de simulações em que o número de agentes terminados é igual ou superior a quatro e divide-se pelo número total de simulações.

Como tal, seja  $nsim$  o número total de simulações, seja  $contador\_nvivos$  o número de elementos vivos na simulação  $sim$  e  $CONTAR.SE$  a função que conta o número de elementos de um conjunto de dados que cumprem com uma determinada condição, é possível obter a percentagem de casos que cumprem com os requisitos:

$$MOE02 = \frac{CONTAR.SE(contador\_nvivos \text{ IF } contador\_nvivos \geq 4)}{nsim} \times 100 \quad (1.5.5)$$

MOE 03 – No decorrer da investigação, verificou-se que o sucesso de cada tática depende do tempo exposto, e por sua vez, do tempo que cada agente está exposto para ser alvo de tiro. Assim, utiliza-se esta medida para verificar, para cada tática, qual o número de oportunidades que proporciona para o agente defensor realizar tiro. Assim, obtém-se a media do número de tiros efetuados, somando o número total de tiros realizados em cada simulação,  $contadortiro$ , e dividindo pelo número total de simulações,  $nsim$ .

$$MOE03 = \frac{contadortiro}{nsim} \quad (1.5.6)$$

MOE 04 – A precisão de tiro das TTP é calculada ao dividir a soma das precisões de tiro de cada simulação pelo número total de simulações. A precisão de tiro de cada simulação é calculada dividindo o número de tiros certos pelo número de tiros disparados. Seja  $contadortiroacertado$  o número de tiros acertados e  $contadortiro$  o número total de tiros realizados, obtém-se:

$$precisao \text{ de tiro} = \frac{contadortiroacertado}{contadortiro} \quad (1.5.7)$$

e

$$MOE04 = \frac{\sum_{sim}^{nsim} precisao \text{ de tiro}_{sim}}{nsim} \quad (1.5.8)$$

Optou-se por fazer o cálculo da medida de eficácia em dois passos, por forma a aproveitar a variável precisão de tiro que já era utilizada anteriormente, de acordo com as fórmulas anteriores. Por outro lado, e para o cálculo direto da precisão de tiro seria necessário gravar mais duas variáveis, *contadortiroacertado\_global* e *contadortiro\_global*, que guardassem o número de tiros certos e o número de tiros realizados de todas as simulações. Assim, reduz-se o esforço computacional e acelera-se o tempo necessário para correr todas as simulações. De qualquer forma, considerou-se a opção do uso de:

$$MOE04 = \frac{\text{contadortiroacertado\_global}}{\text{contadortiro\_global}} \quad (1.5.9)$$

## 1.6 Escolha do *time-step*

Foram realizadas diversas simulações, mantendo os parâmetros, fazendo apenas variar o valor do *time-step*. Nomeadamente, a TTP 01 em formatura de Linha foi testada 500 vezes no Cenário Arborizado 01. Abaixo, registou-se os valores obtidos para a média de elementos vivos, as MOE e a duração da simulação.

Foram realizadas simulações para  $ts=4s$ ,  $2s$ ,  $1s$ ,  $0.75s$ ,  $0.50s$  e  $0.25s$ . Não foram testados valores inferiores uma vez que a partir do valor  $0.25s$  a duração da simulação toma valores tão elevados que a própria simulação é mais longa que o tempo simulado. A partir desse valor, o simulador deixa de ser prático e perde-se a utilidade do mesmo. Por outro lado, para valores superiores a  $4s$ , e pelo motivo já explicado anteriormente, o tempo simulado é tão grande que são feitos saltos demasiado elevados e o simulador deixa de funcionar corretamente. Inicialmente foram feitos testes para  $10s$  e, para valores dessa ordem, a simulação é concluída em poucos ciclos, o que torna os resultados pouco precisos.

TABELA 1.4: Resultados dos testes para determinar o melhor *time-step*.

TTP 01	$ts=4$	$ts=2$	$ts=1$	$ts=0.75$	$ts=0.50$	$ts=0.25$
Média vivos	6.6600	5.15	3.9260	3.6880	2.9980	2.8380
MOE 01	0.0279	0.0718	0.0558	0.0550	0.0441	0.0424
MOE 02	100	95.2	60.4	52.8	34.2	28.8
MOE 03	4.2940	9.336	12.8860	12.9020	16.2820	17.222
MOE 04	36.7673	32.8978	34.0319	35.2935	32.1656	31.2710
Duração (s)	490	492	803	969	1424	2580
Duração	8'10"	8'12"	13'23"	16'09"	23'44"	43'

Fonte: Autor.

De facto, é possível observar que quanto maior o  $ts$ , piores são os resultados. Idealmente, seria mais correto utilizar o menor valor possível, uma vez que tornaria a

simulação o mais real possível. No entanto, é de constatar pelos gráficos abaixo, que o tempo necessário para fazer as respectivas simulações aumenta exponencialmente à medida que se diminui o *ts*. Por outro lado, os resultados visam a tender e a estabilizar quanto menor for o *time-step*. Assim, é importante encontrar um equilíbrio entre o erro aceitável e a duração da simulação.

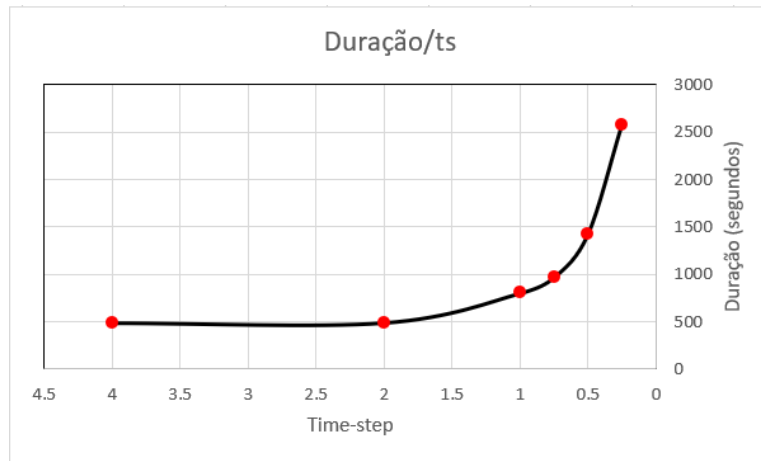


FIGURA 1.43: Gráfico de duração/*time-step*.  
Fonte: Autor.

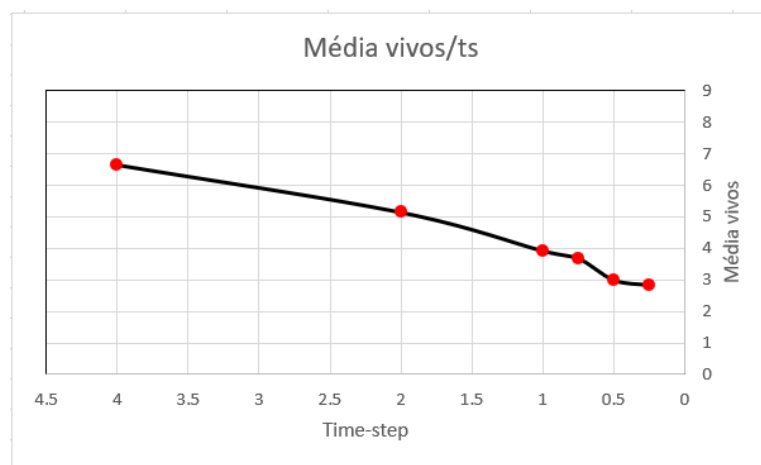


FIGURA 1.44: Gráfico da média de vivos/*time-step*.  
Fonte: Autor.

É fácil de entender que quanto menor o *time-step*, maior é o número de ciclos que são necessários fazer e, por sua vez, maior a duração da simulação. No entanto, resta explicar o porquê da discrepância dos resultados no número médio de elementos vivos.

O principal fator prende-se com o facto de que para *time-steps* muito grandes, existe um elevado risco de os agentes não serem detetados. Para esses *time-steps*, a distância percorrida em cada ciclo é muito grande e o agente nunca chega a entrar no ângulo de visão do agente defensor, o que impossibilita a sua deteção.

No esquema abaixo, está representado o movimento para dois *time-steps* diferentes, num cenário com um agente que tem o seu campo de visão estático e representado a verde. A vermelho, o movimento para  $ts=2$  e a azul, para o  $ts=1$ . Como se pode constatar, para *time-steps* demasiado elevados, é possível os agentes nunca chegarem a ser detetados, e por sua vez nunca chegam a ser alvo de tiro.

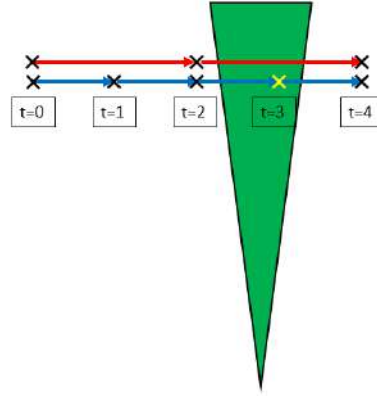


FIGURA 1.45: Esquema para o risco de não deteção.

Fonte: Autor.

Assim, como tentativa para relacionar os resultados obtidos e encontrar um valor credível para o *time-step*, foi necessário normalizar os dados para, em seguida, encontrar um ponto de interceção entre as variáveis utilizadas. Como tal, foram realizadas as seguintes normalizações, utilizando como variáveis os valores para a média dos elementos vivos e a duração da simulação.

- *Z-score*;
- *Min-Max*.

Tendo por base os resultados obtidos anteriormente, foi necessário estabelecer um *threshold*. Assim, foram excluídos os valores para  $ts=4$ ,  $ts=2$  e  $ts=0.25$ . Estes três valores apresentam resultados que, com base no conhecimento contextual do problema, não são adequados. Para os  $ts=4$  e  $ts=2$ , o erro da média de vivos é demasiado grande e para  $ts=0.25$  a duração da simulação é excessivamente elevada.

Portanto, foram realizados dois testes adicionais a fim de verificar se é possível calcular normalizações mais precisas e obter o *time-step* mais correto:

- *Z-Score com threshold*;
- *Min-Max com threshold*.

#### Z-score

Esta normalização é utilizada quando os parâmetros da população são conhecidos e é calculada com a fórmula abaixo, em que  $\bar{x}$  é a média e  $\sigma$  é o desvio padrão:



$$Z_i = \frac{X_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (1.6.1)$$

Como tal, foram calculados os novos valores, a média e o desvio padrão, de acordo com o quadro abaixo:

TABELA 1.5: Normalização Z-Score.

<i>Time-step</i>	4	2	1	0.75	0.50	0.25
Média vivos	6.6600	5.1500	3.9260	3.6880	2.9980	2.8380
Duração	490	492	803	969	1424	2580
$\bar{x}$ Vivos	4.21					
$\bar{x}$ Duração	1126.33					
$\sigma$ Vivos	1.3286					
$\sigma$ Duração	723.23					
<i>Z-score</i> vivos	1.6834	0.6458	-0.1951	-0.3586	-0.8327	-0.9427
<i>Z-score</i> duração	-0.8031	-0.8006	-0.4081	-0.1985	0.3757	1.8348

Fonte: Autor.

#### *Z-score com Threshold*

Para esta normalização, foram retirados os valores para  $ts=4$ ,  $ts=2$  e  $ts=0.25$ . No entanto, os restantes passos são iguais à normalização anterior.

TABELA 1.6: Normalização *Z-Score* com *Threshold*.

<i>Time-step</i>	1	0.75	0.50
Média vivos	3.9260	3.6880	2.9980
Duração	803	969	1424
$\bar{x}$ Vivos	3.54		
$\bar{x}$ Duração	1065.33		
$\sigma$ Vivos	0.4819		
$\sigma$ Duração	321.51		
<i>Z-score</i> vivos	0.8064	0.3126	-1.1190
<i>Z-score</i> duração	-0.8159	-0.2996	1.1156

Fonte: Autor.

#### *Min-Max*

A normalização *Min-Max*, por outro lado, transforma os valores e altera-os para uma escala entre  $[0, 1]$ . Para tal, é utilizada a fórmula abaixo:

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (1.6.2)$$

Assim, obteve-se o seguinte quadro:

TABELA 1.7: Normalização *Min-Max*.

<i>Time-step</i>	4	2	1	0.75	0.50	0.25
Média vivos	6.6600	5.1500	3.9260	3.6880	2.9980	2.8380
Duração	490	492	803	969	1424	2580
$X_{min}$ Vivos	2.8380					
$X_{min}$ Duração	490					
$X_{max}$ Vivos	6.66					
$X_{max}$ Duração	2580					
<i>Min-Max</i> vivos	1	0.6049	0.2847	0.2223	0.0419	0
Min-Max duração	0	0.0009	0.1498	0.2292	0.4469	1

Fonte: Autor.

#### *Min-Max com Threshold*

Por fim, é calculada a normalização *Min-Max*, desta vez com o *threshold*.

TABELA 1.8: Normalização *Min-Max* com *Threshold*.

<i>Time-step</i>	1	0.75	0.50
Média vivos	3.9260	3.6880	2.9980
Duração	803	969	1424
$X_{min}$ Vivos	2.9980		
$X_{min}$ Duração	803		
$X_{max}$ Vivos	3.9260		
$X_{max}$ Duração	1424		
<i>Min-Max</i> vivos	1	0.7435	0
Min-Max duração	0	0.2673	1

Fonte: Autor.

Finalmente, é possível comparar as duas variáveis e escolher o melhor valor para o *time-step*. Assim, foram desenhados quatro gráficos, em que cada um representa uma das normalizações feitas. Para melhor compreender o impacto do *threshold*,

## 1.6. Escolha do time-step

foi mantida a mesma escala (no eixo das abcissas) para cada um dos gráficos, escala esta que vai de 0.25 a 4 (mínimo e máximo dos *time-steps*).



FIGURA 1.46: Normalização *Z-Score*.  
Fonte: Autor.



FIGURA 1.47: Normalização *Z-Score* com *Threshold*.  
Fonte: Autor.

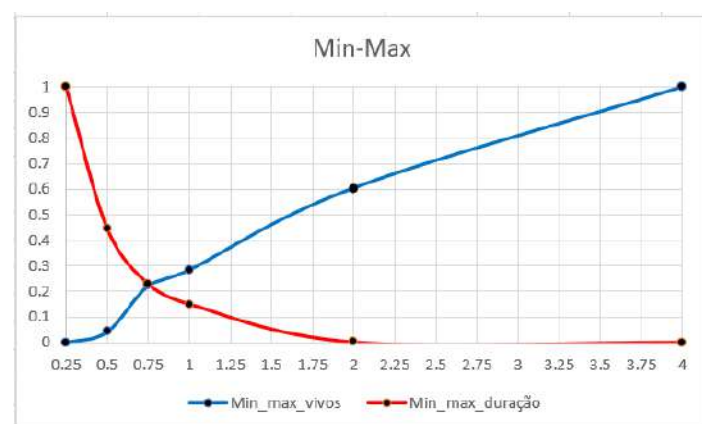
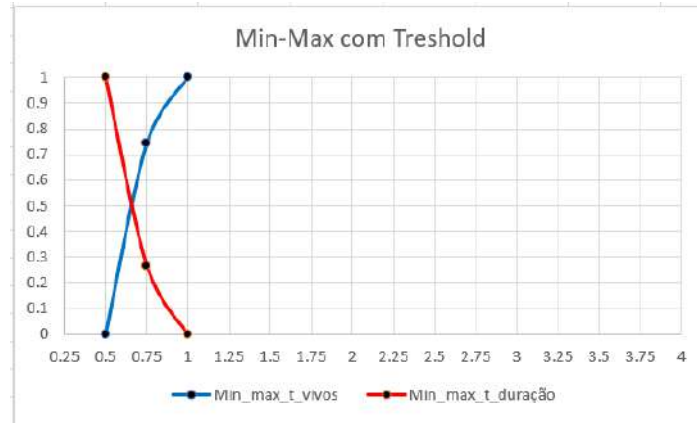


FIGURA 1.48: Normalização *Min-Max*.  
Fonte: Autor.

FIGURA 1.49: Normalização *Min-Max* com *Threshold*.

Fonte: Autor.

Observando os gráficos acima, é possível concluir que os *time-steps* que melhor conseguem conciliar a precisão dos resultados obtidos sem descuidar a duração da simulação são os pontos de interseção entre as duas retas. Verifica-se sistematicamente que a região onde as retas se cruzam é entre o  $ts=0.75$  e o  $ts=1$ .

Em suma, e após analisar os dados, é possível concluir que o *time-step* mais apropriado para as simulações toma o valor de 0.75. Este *time-step* é o valor mais aproximado da interseção das retas calculadas nas quatro normalizações acima demonstradas.

## Capítulo 2

# Experimentação e Resultados

### 2.1 Cenário

Conforme enunciado anteriormente, foram construídos dois cenários arborizados diferentes. Com isto, pretende-se estudar se o formato do cenário tem influência direta nos resultados, apesar de ambos serem num ambiente arborizado. Assim, é possível demonstrar que a escolha da melhor tática a ser empregue, varia de situação para situação.

Vão ser apresentados dois cenários distintos, em que o primeiro tem o objetivo final num dos extremos do terreno, e o outro no centro. No primeiro, o agente da força defensora encontra-se a fazer segurança apenas para o setor que corresponde ao eixo de aproximação da força defensora, e no segundo, o mesmo agente tem um setor de 360° e a força atacante pode fazer a sua aproximação por qualquer eixo.

Para ambos, o cenário é definido com recurso a cinco parágrafos, que se assemelham ao formato de uma *Fragmentary Order* (FRAGO): Situação, Missão, Execução, Administração e Logística, Comando e Comunicações (NATO Standardization agency, 2000, p. 33-34). Na Situação é feita uma breve descrição do contexto do cenário, na Missão é definida a ação tática a ser tomada pela força Atacante e respetiva finalidade, na Execução são explicadas algumas das limitações de ambas as forças e também o conceito de operações, onde estão definidos o tipo de testes que irão ser realizados. Por fim, em Administração e Logística e Comando e Comunicações, é feita uma breve referencia ao tipo de armamento utilizado, algumas questões de natureza médica e a organização de comando utilizada.

Além disso, são referidos os constituintes de ambas as forças, as limitações consideradas, o tipo de terreno, e respetivas implicações. Para os dois cenários, é feita uma explicação da área de trabalho desenhada.

### 2.1.1 Cenário Arborizado 01



FIGURA 2.1: Cenário Arborizado 01.

Fonte: Autor.

Conforme é possível observar na imagem acima, o primeiro cenário enquadra-se num ambiente arborizado. Utilizou-se o campo de futebol da EN para materializar o terreno pois para além de ser um terreno que se enquadra no âmbito deste estudo, é um local que facilmente pode ser utilizado para realizar experiências em ambiente real.

A área de origem foi posicionada na lateral do campo, uma vez que corresponde ao principal eixo de aproximação. Pela mesma linha de raciocínio, o objetivo final foi colocado na outra extremidade do campo e considera-se que a Força Defensora se encontra nesse mesmo local. Além disso, estão desenhados vários obstáculos, a verde, que representam árvores. Estes obstáculos são intrespessáveis, têm que ser contornados e não permitem uma linha de vista. Ainda, é considerado que não é possível fazer tiro quando um agente se encontra por de trás dos mesmos.

À exceção dos obstáculos, todo o cenário é considerado como plano, não havendo variações de altimetria.

Do ponto de vista tático, considera-se que este cenário se encontra enquadrado numa operação de maior envergadura uma vez que não é comum existir uma força a atuar independentemente, como é o caso da Força Defensora. Com isto, é de referir que este cenário é apenas uma parcela de todo o terreno, havendo mais posições defensivas que se complementam umas às outras. Na imagem abaixo, está representado a forma como este cenário está enquadrado numa operação de maior escala.

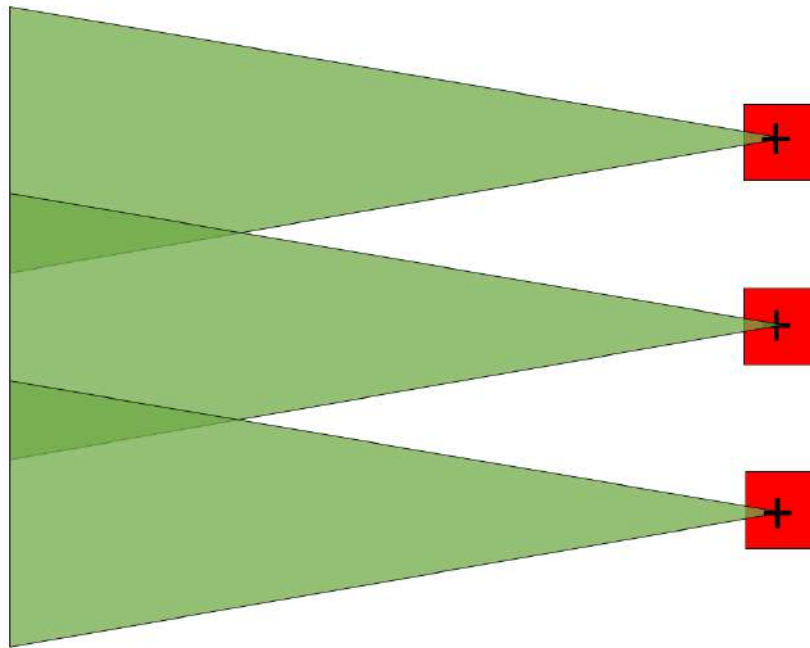


FIGURA 2.2: Enquadramento do primeiro cenário em táticas terrestres.

Fonte: Autor.

Assim, está definido que o agente da Força Defensora se encontra a fazer segurança ao objetivo e que o seu campo de tiro é definido por dois azimutes, contabilizando um ângulo de  $50^{\circ}$ . Para os casos em que já se encontra a fazer tiro para um alvo e este coloca-se num ângulo superior ao designado para o agente defensor, o agente defensor deixa de fazer tiro. Como justificação, considera-se que para fora dos limites designados para um agente, existem outros agentes com campos de tiro que passam a cobrir essas áreas.

Para este cenário, irá ser contabilizado apenas um agente Defensor, com limites de tiro já designados. Uma vez fora desses limites, o agente não pode fazer tiro.

### 2.1.2 Cenário Arborizado 02



FIGURA 2.3: Cenário Arborizado 02.

Fonte: Autor.

No segundo cenário, optou-se por manter a mesma disposição geral que no cenário anterior, alterando apenas a localização do objetivo final e retirou-se a área de origem. Enquanto que no Cenário Arborizado 01 é definido como principal eixo de aproximação o sentido Oeste-Este, neste cenário é dada maior liberdade de ação e pode ser optado por qualquer um dos eixos. Uma vez sendo este um cenário hipotético e, atendendo as limitações aplicadas, não vai ser considerada a problemática do cruzamento de setores de tiro dentro da Força Atacante. Por sua vez, a Força Defensora possui um campo de tiro de 360°.

Mais uma vez, os obstáculos são intrespessáveis e devem ser contornados e não permitem uma linha de tiro quando os mesmos se encontram à frente de um possível alvo. O terreno é também plano, com exceção dos obstáculos e do objetivo final (vermelho), que são considerados como árvores e um edifício, respetivamente.

No Cenário Arborizado 02, a Força Defensora encontra-se no centro do terreno e tem toda uma área de 360° para realizar segurança. É um cenário que claramente favorece a Força Atacante uma vez que, mantendo os mesmos quantitativos, tem que percorrer uma menor distância até atingir o objetivo final e consegue uma maior dispersão, aumentando a probabilidade de não serem detetados.

Este cenário pretende demonstrar que devemos adaptar as TTP de acordo com o terreno, cenário e situação. Neste caso, ao alterar o eixo de aproximação e disposição no terreno, é de prever que as táticas vencedoras no Cenário Arborizado 01 possam não ser as mais eficazes para o Cenário Arborizado 02.

Os cenários foram desenhados para que facilmente possam ser testados e validados numa situação real. Do cenário Arborizado 01 para o cenário Arborizado



02, manteve-se o terreno, o campo de futebol da EN, e os obstáculos utilizados são os mesmos e foram colocados na mesma posição. Assim de um cenário para o outro é apenas necessário alterar a posição do objetivo final.

### 2.1.3 Situação

Para efeitos de validação e experimentação, foi construído um cenário creível que seja ao mesmo tempo possível de ser testado em ambiente simulado e em ambiente real. É importante que estes cenários sejam simples o suficiente para, mais tarde, serem recriados e validados. Não obstante, devem ser realistas para serem obtidos resultados concretos e precisos. Assim, foi escolhido como terreno o campo de futebol da Escola Naval. Este terreno, uma vez provido de obstáculos e objetivos, irá ser o alvo de estudo utilizado nas simulações.

#### Forças Inimigas

A Força Defensora é constituída por 01 (um) agente de uma força convencional que se encontra no local do objetivo. Esta força, é caracterizada por ter pouco treino e disciplina.

### 2.1.4 Missão

A força atacante, durante o arco diurno, realiza uma operação no campo de futebol da Escola Naval do tipo *secure*<sup>5</sup> contra a força defensora, a fim de ocupar a posição em que esta se encontra.

### 2.1.5 Execução

Resultante das limitações impostas no simulador, está delimitado que a Força Atacante irá realizar apenas a parte de movimentação e progressão no terreno, estando desprovida de qualquer capacidade de fazer tiro. Por outro lado, a Força Defensora, encontra-se estática e realiza a componente de tiro. Como tal, a Força Atacante está impedida de realizar qualquer tipo de ação a fim de eliminar ou suprimir a ação do agente Defensor. Da mesma forma, considera-se que a Força Defensora irá manter a sua posição e postura.

#### Conceito de operações

Vão ser empregues diferentes conceitos de operações, do ponto de vista da força atacante, a fim de verificar qual o que obtém melhor resultados para cada situação. Assim, irão ser testadas várias formas de aproximação, nomeadamente:

- Ao assalto;
- Marcha Leopardo;
- Combinação de assalto com marcha leopardo;

---

<sup>5</sup> *Gain possession of a position or terrain feature, with or without force, and to make such disposition as will prevent its destruction or loss to enemy action*(NATO Standardization agency, 2006, p. A-13).

- Combinação de assalto com avanço por lanços ou *sprints*.

Além do mais, estas formas de aproximação irão ser combinadas com várias disposições ou formaturas a fim de criar diversos testes:

- Linha;
- Coluna;
- Dispersão dos elementos por duas áreas de trabalho;
- Perímetro de 360<sup>o</sup> (unicamente para o Cenário Arborizado 02).

#### Término da operação

A operação é dada como terminada quando todos os agentes da Força Atacante cumprem com a missão ou quando os mesmos são dados como eliminados.

### **2.1.6 Administração e Logística**

A força defensora encontra-se armada com o equipamento padrão utilizado no Corpo de Fuzileiros, nomeadamente com a espingarda G3. Como tal, o agente dispõe de 05 carregadores com 20 munições cada, contabilizando um total de 100 munições. Nestes testes, considera-se que cada tiro certo é fatal e, um agente ao ser atingido é instantaneamente dado como morto.

### **2.1.7 Comando e Comunicações**

A Força Atacante, constituída por uma secção de 08 (oito) elementos, subdivide-se em duas equipas de 04 (quatro). Cada equipa é comandada por um chefe de equipa e, na primeira equipa, o chefe de equipa é também o Comandante da secção.

## **2.2 Caderno de provas**

De acordo com os testes realizados nos capítulos anteriores, chegou-se à decisão de criar um caderno de provas que indica todos os testes que irão ser realizados, bem como as condições, variáveis e valores utilizados. Além disso, vão ser registado os valores obtidos para as MOE anteriormente escolhidas, bem como a média do número de agentes que terminarão a simulação vivos e o tempo médio de cada simulação.

Como tal, irão ser realizadas as seguintes simulações para cada um dos cenários, de acordo com os quantitativos do quadro abaixo:

TABELA 2.1: Número de simulações por TTP.

$ts=0.75s$	Cenário Arborizado 01			Cenário Arborizado 02				TOTAL
TTP	Linha	Coluna	2AT	Linha	Coluna	2AT	360	
TTP 01	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	10500
TTP 02	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	10500
TTP 03	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	10500
TTP 04	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	10500
TTP 05	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	10500
TOTAL	22500 <i>sim</i>			30000 <i>sim</i>				52500 <i>sim</i>

Fonte: Autor.

Como é possível observar, serão realizadas 52500 simulações ao longo de 35 testes diferentes. Cada teste irá ter 1500 simulações com  $ts=0.75s$ , em que são contabilizadas 22500 simulações para o Cenário Arborizado 01 e 30000 simulações para o Cenário Arborizado 02. As variáveis personalizáveis e demais valores, tempos e características tomam os valores de acordo com o quadro abaixo e são aqui enunciadas de modo a que, numa futura eventualidade, seja possível recriar os mesmos testes em circunstâncias e parâmetros iguais.

TABELA 2.2: Variáveis e valores utilizados nas simulações.

Variável	Nome	Valor	Unidades
Treino	Nível de treino da Força Defensora	Pouco – 0.79	Adimensional
Ansiedade	Nível de ansiedade sofrido pela Força Defensora	<i>High</i> – 0.47	Adimensional
Apoio	Tipo de apoio utilizado para fazer fogo.	<i>Off-elbows</i> – 0.81	Adimensional
$ts$	<i>time-step</i>	1	Segundos
Nº Força Atacante	Número de elementos da Força Atacante	Secção – 08	Adimensional
$nsim$	Número de simulações	1500	Adimensional
<i>temporeload</i>	Tempo para fazer <i>reload</i>	4	Segundos
<i>tempodetecao</i>	Tempo necessário esperar para detetar o alvo	1	Segundos
<i>tempoalvo</i>	Tempo necessário esperar após deixar de ficar visível para trocar de alvo	3	Segundos

<i>tempopostura</i>	Tempo necessário esperar para trocar de postura	1	Segundos
<i>rastejarlongo</i>	Velocidade a rastejar longas distâncias	0.35	<i>m/s</i>
<i>rastejarcorto</i>	Velocidade a rastejar curtas distâncias	0.88	<i>m/s</i>
Andar	Velocidade a andar	1.32	<i>m/s</i>
Correr	Velocidade a correr	2.58	<i>m/s</i>
<i>Sprint</i>	Velocidade em <i>sprint</i>	3.26	<i>m/s</i>
Modo busca	Modo de busca	1 - Aleatório	Adimensional
<i>limiteesq</i>	Limite de tiro esquerdo	170	Azimute
<i>limitedir</i>	Limite de tiro direito	220	Azimute

Fonte: Autor.

## 2.3 Resultados obtidos

Conforme foi mencionado anteriormente, foram registados os valores entre cada simulação, para representar os gráficos de médias sucessivas, mas também o valor obtido no final de cada teste. São estes que, inicialmente, serão apresentados. Além disso, e de forma mais pormenorizada, serão analisados os resultados por forma a verificar em qual das situações se obteve melhores resultados e, assim, determinar a tática vencedora.

Como tal, e para uma melhor compreensão dos resultados obtidos, foram construídos *scatter plots* que representam a relação entre a média de elementos vivos e o tempo decorrido, foram construídos gráficos que demonstram a evolução dos resultados, por médias sucessivas, e também quadros resumos que apresentam a análise que foi feita dos resultados.

Nas duas tabelas abaixo estão representados os resultados obtidos para cada TTP, para o Cenário Arborizado 01 e 02, em que no final das *1500 simulações*, foram registados os valores para a média de agentes vivos, a média do tempo decorrido, os valores para as MOE 1, 2, 3 e 4 e a duração, em segundos, que a simulação demorou a estar terminada. É com base nestes valores que irão ser feitos os demais gráficos, bem como as conclusões observadas.

No entanto, como foram registados milhares de valores entre as 52500 simulações, a lista exaustiva de resultados que irá ser a base para o gráfico de médias sucessivas não se encontra aqui representada uma vez que é demasiado exaustiva e com grandes dimensões.

### 2.3. Resultados obtidos

TABELA 2.3: Médias e MOE obtidos para o Cenário Arborizado 01.

Arborizado 01	Vivos	Tempo (s)	MOE 01	MOE 02	MOE 03	MOE 04	Duração (s)
TTP 01 Linha	1.8887	154.50	0.0122	9.73%	20	31.27%	5339
TTP 01 Coluna	3.5673	142.88	0.0250	55.47%	15	32.20%	7082
TTP 01 2AT	3.4820	155.55	0.0224	47.47%	16	29.44%	6598
TTP 02 Linha	0.0687	456.28	0.0002	0%	27	31.35%	11332
TTP 02 Coluna	0.1753	490.50	0.0004	0.20%	27	31.22%	11119
TTP 02 2AT	0.0207	299.09	0.0001	0%	28	31.59%	7428
TTP 03 Linha	2.7187	163.05	0.0167	28.40%	18	32.07%	7000
TTP 03 Coluna	2.6067	151.93	0.0172	17.40%	18	32.15%	6581
TTP 03 2AT	2.4020	176.48	0.0136	18.27%	19	30.48%	6294
TTP 04 Linha	2.3887	554.69	0.0043	21.07%	19.	30.31%	16667
TTP 04 Coluna	4.2313	534.72	0.0079	65.80%	13	28.03%	19602
TTP 04 2AT	3.4160	550.51	0.0062	42.07%	16	29.22%	17868
TTP 05 Linha	4.0900	156.97	0.0261	55.80%	13	30.23%	6426
TTP 05 Coluna	6.1700	143.07	0.0431	98.20%	6	30.36%	7688
TTP 05 2AT	6.0653	158.55	0.0383	92.73%	7	23.76%	7424

Fonte: Autor.

Conforme referido, segue em seguida a mesma tabela, referente aos resultados obtidos no Cenário Arborizado 02.

TABELA 2.4: Médias e MOE obtidos para o Cenário Arborizado 02.

Arborizado 02	Vivos	Tempo (s)	MOE 01	MOE 02	MOE 03	MOE 04	Duração (s)
TTP 01 Linha	3.8073	91.85	0.0414	59.67%	13	34.43%	4591
TTP 01 Coluna	7.6027	73.88	0.1029	100%	1	33.50%	5366
TTP 01 2AT	3.6900	95.72	0.0385	56.07%	15	31.64%	4949
TTP 01 360º	5.2393	81.72	0.0641	97.07%	9	33.89%	4512
TTP 02 Linha	0.5147	270.17	0.0019	0.067%	25	32.18%	8446
TTP 02 Coluna	4.4820	283.84	0.0158	68.87%	12	31.18%	14707
TTP 02 2AT	0.0753	240.90	0.0003	0.20%	27	31.99%	6732
TTP 02 360º	2.8727	280.04	0.0103	13.13%	17	33.60%	7977
TTP 03 Linha	3.6860	96.10	0.0384	53.80%	15	31.90%	4124
TTP 03 Coluna	7.3980	75.53	0.0979	100%	2	30.99%	4715
TTP 03 2AT	3.1713	96.50	0.0329	41.67%	16	31.73%	4092
TTP 03 360º	4.8747	111.05	0.0439	94.20%	11	34.39%	4249
TTP 04 Linha	1.9540	281.77	0.0069	22.87%	21	29.77%	8785
TTP 04 Coluna	6.4960	284.99	0.0228	96.67%	5	26.72%	16790
TTP 04 2AT	2.2833	292.91	0.0078	29.20%	19	29.27%	9838
TTP 04 360º	3.2333	279.38	0.0116	40.40%	16	29.45%	82513
TTP 05 Linha	4.9493	89.33	0.0554	79.20%	10	29.85%	4089
TTP 05 Coluna	7.8873	74.035	0.1065	100%	0.3	27.44%	4658
TTP 05 2AT	5.2213	96.02	0.0544	86.60%	10	29.49%	4398
TTP 05 360º	5.7153	85.18	0.0671	93.80%	8	30.28%	3426

Fonte: Autor.

### 2.3. Resultados obtidos

Ao analisar os resultados obtidos, é possível constatar que em 77.5 horas, ou 3.2 dias reais, foram simuladas 1787 horas, ou 74.4 dias, simulados.

Em relação ao Cenário Arborizado 01, a tática com o maior número de agentes vivos foi a TTP 05 + Coluna, com uma média de 6.17. A TTP mais rápida foi a TTP 01 + Coluna, com um tempo médio de 142.88s. Por outro lado, a TTP com menor número de agentes vivos foi a TTP 02 + 2AT, com o valor médio de 0.0207 e a mais lenta, a TTP 04 + Linha, com um tempo médio de 554.69s.

Já no Cenário Arborizado 02, a tática com maior número de agentes foi a TTP 05 + Coluna com um valor de 7.8873, e a mais rápida a TTP 01 + Coluna, com um tempo de 73.88s. Por fim, a TTP com menor número de agentes vivos foi a TTP 02 + 2AT, com 0.0753 agentes vivos e a mais lenta, a TTP 04 + Linha, com o tempo de 292.91s.

Conforme referido anteriormente, seguem os resultados obtidos em forma de *scatter plot*. Inicialmente, serão apresentados os resultados para o Cenário Arborizado 01 e em seguida para o Cenário Arborizado 02. Para cada um, será feita uma divisão por cores, sendo que os gráficos serão legendados e agrupados pela TTP utilizada e em seguida pela formatura adotada. Assim, será possível verificar se existe algum padrão ou alguma conclusão com base nas táticas e ou formaturas utilizadas.

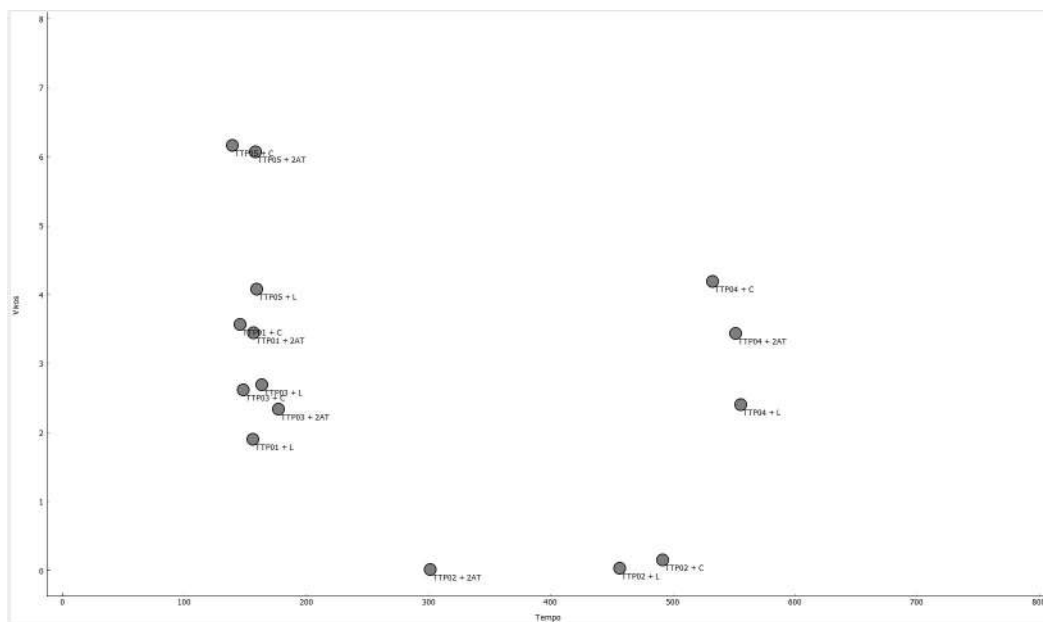


FIGURA 2.4: *Scatter plot* - Cenário Arborizado 01.

Fonte: Autor.

É possível observar que existem resultados muito diferentes e é de interesse estudar se existe algum tipo de aglomerado, quer este seja feito pela TTP utilizada ou pela formatura empregue. Assim, o mesmo gráfico foi colorido de forma diferente, primeiro por TTP e em seguida por formatura.

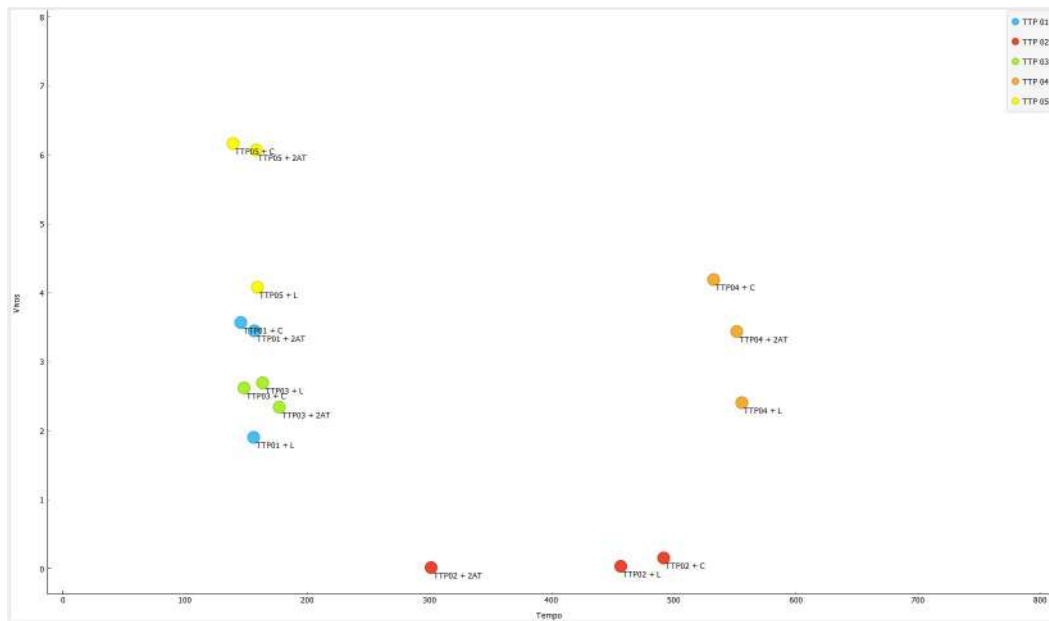


FIGURA 2.5: *Scatter plot* - Cenário Arborizado 01 por TTP.  
Fonte: Autor.

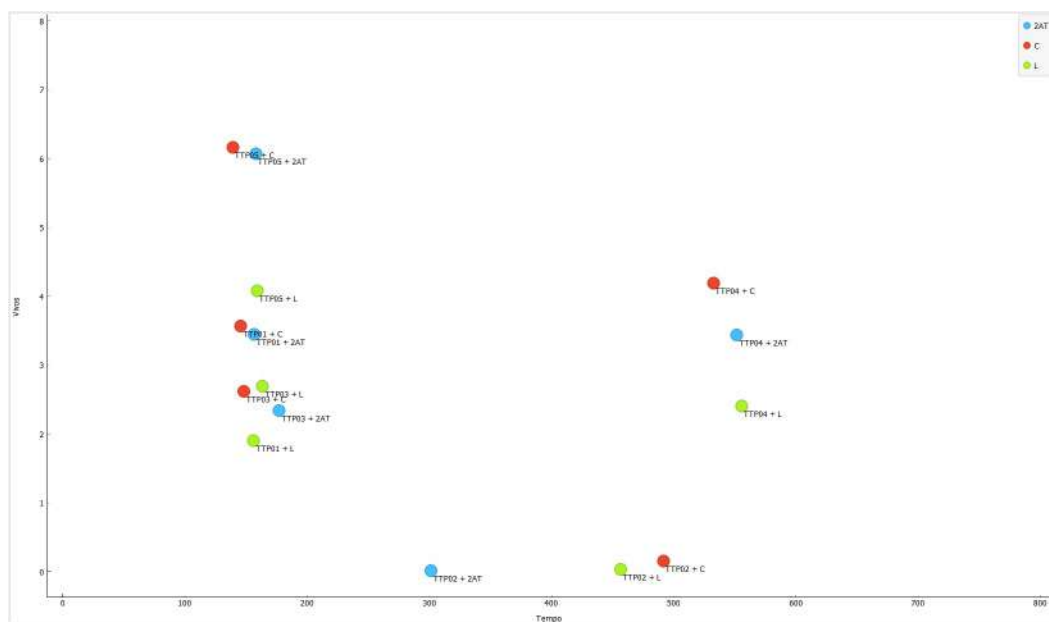


FIGURA 2.6: *Scatter plot* - Cenário Arborizado 01 por formatura.  
Fonte: Autor.

É possível concluir que, para o Cenário Arborizado 01, os resultados estão aglomerados principalmente pela tática empregue. É esta que tem maior fator nos resultados obtidos. No entanto, e apesar de não ter tanto peso, a formatura é um fator com importância para os mesmos resultados.



### 2.3. Resultados obtidos

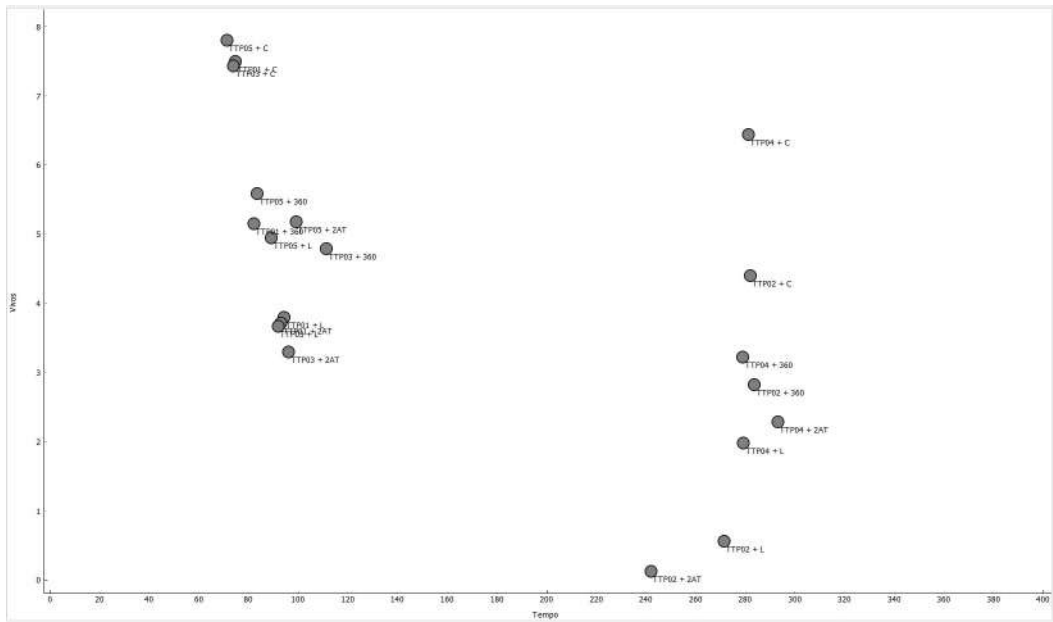


FIGURA 2.7: *Scatter plot* - Cenário Arborizado 02.  
Fonte: Autor.

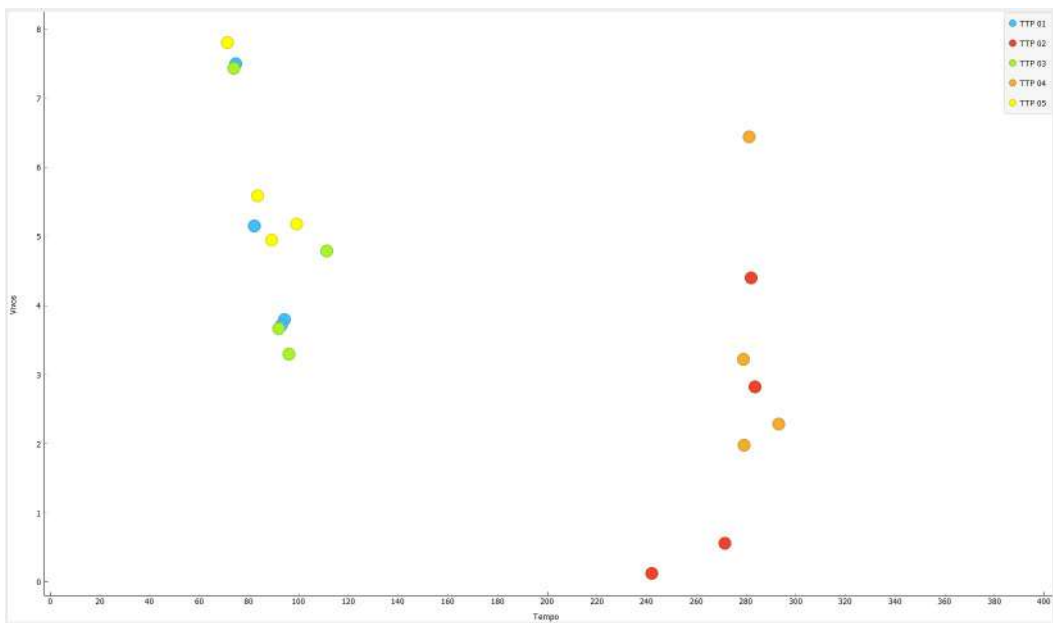


FIGURA 2.8: *Scatter plot* - Cenário Arborizado 02 por TTP.  
Fonte: Autor.

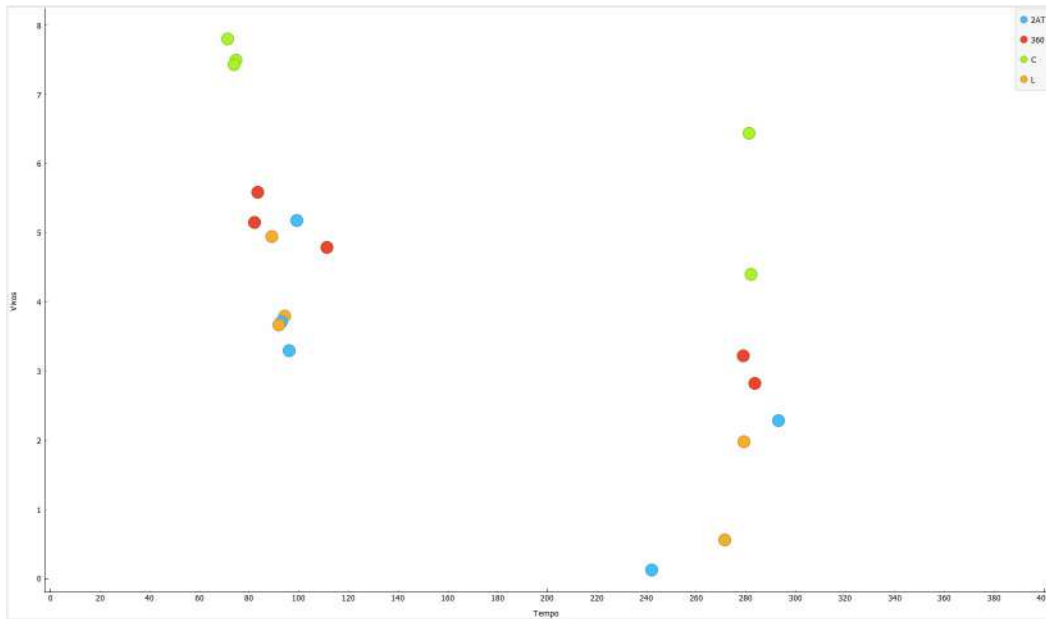


FIGURA 2.9: *Scatter plot* - Cenário Arborizado 02 por formatura.  
Fonte: Autor.

Agora, é possível verificar precisamente o contrário, sendo que o critério com maior impacto é a formatura e não necessariamente a TTP utilizada.

Por fim, apresenta-se o último *scatter plot*, em que são apresentados simultaneamente os resultados de cada um dos cenários.

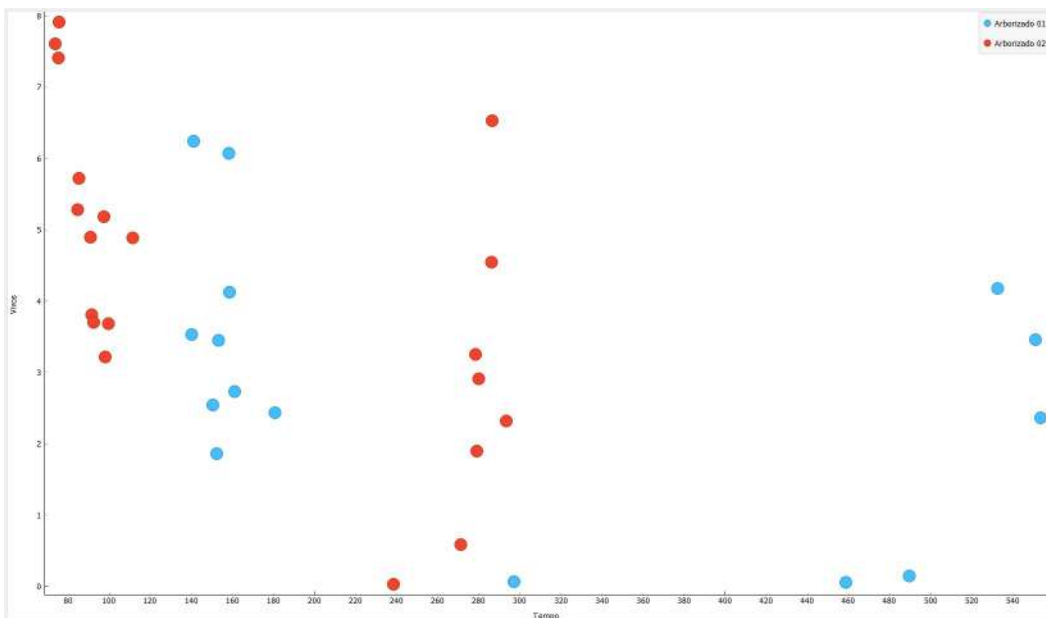


FIGURA 2.10: *Scatter plot* - Cenário Arborizado 01 e 02.  
Fonte: Autor.

Conforme mencionado, verifica-se claramente que o tipo de cenário estudado vai ter um impacto direto nos resultados obtidos.

### 2.3. Resultados obtidos

Em seguida, são apresentados os gráficos de médias sucessivas. Primeiramente, são apresentados os resultados para o Cenário Arborizado 01, de forma geral e em seguida para cada TTP. Após isso, repete-se a mesma sequência mas para o Cenário Arborizado 02 e, no fim, são apresentados os resultados combinados dos dois cenários.

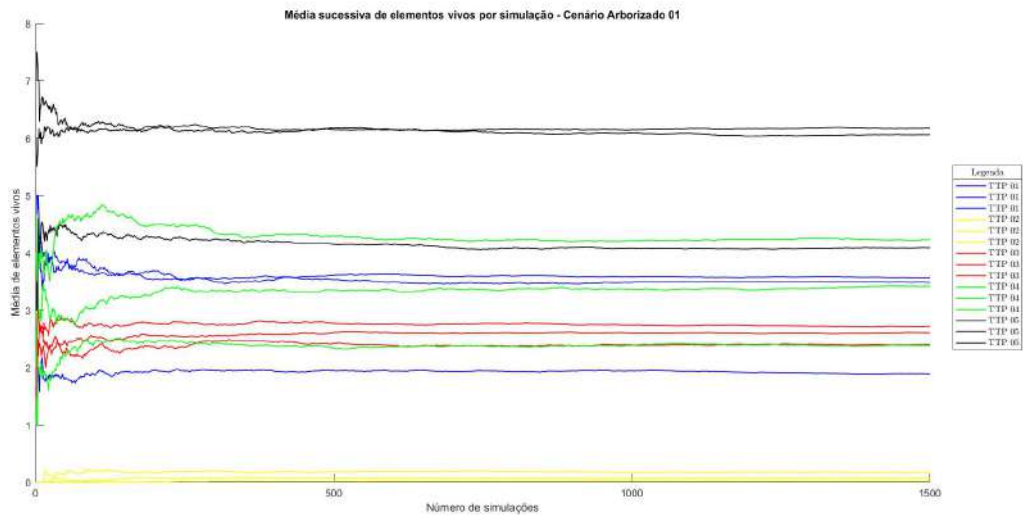


FIGURA 2.11: Média sucessiva de elementos vivos por simulação:  
Cenário Arborizado 01.

Fonte: Autor.

Pode-se constatar, logo à partida, que existe claramente um agrupar dos resultados, consoante a TTP utilizada. Em seguida, irão ser apresentados gráficos semelhantes mas que caracterizam mais pormenorizadamente os resultados dentro de cada TTP, for forma a mostrar as diferenças de cada formatura adotada.

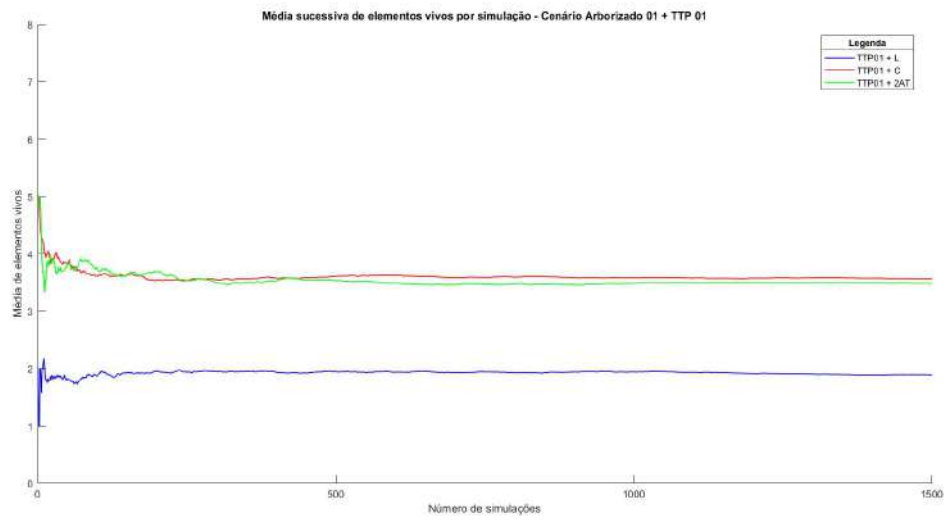


FIGURA 2.12: Média sucessiva de elementos vivos por simulação:  
Cenário Arborizado 01 + TTP 01.  
Fonte: Autor.

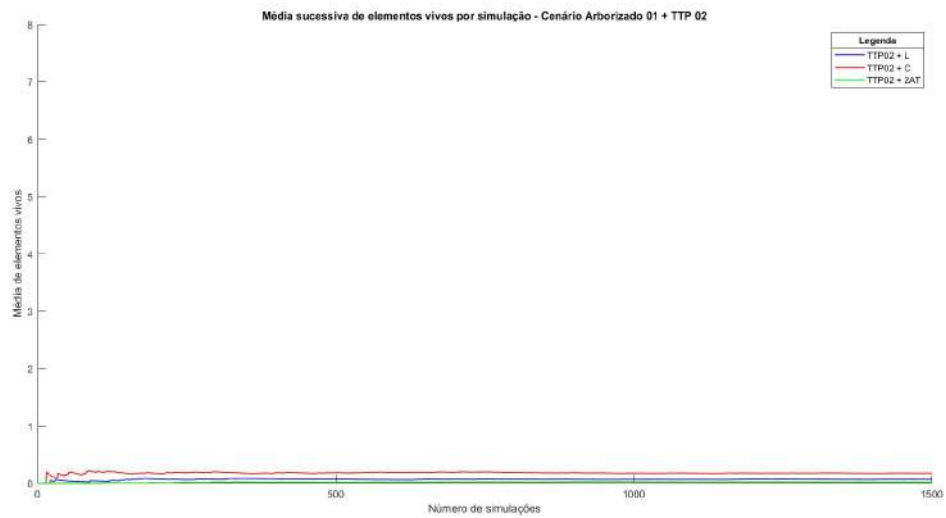


FIGURA 2.13: Média sucessiva de elementos vivos por simulação:  
Cenário Arborizado 01 + TTP 02.  
Fonte: Autor.

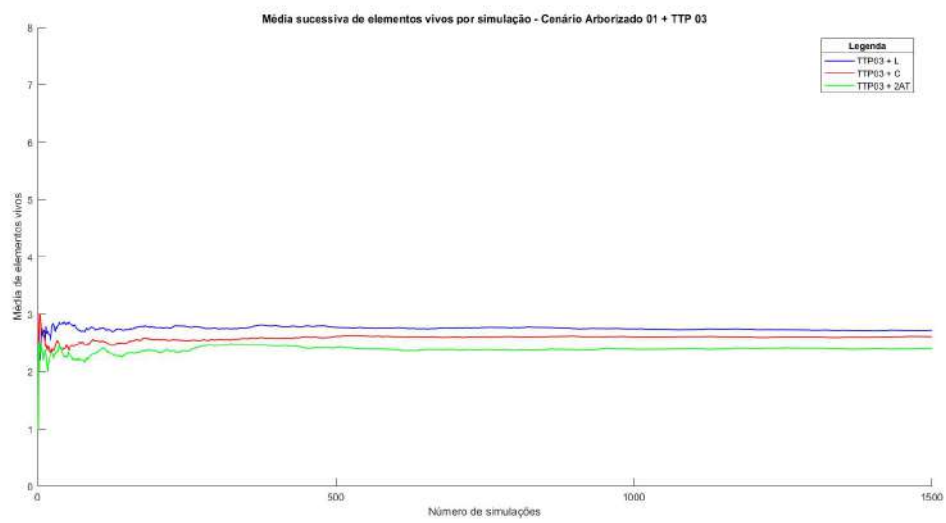


FIGURA 2.14: Média sucessiva de elementos vivos por simulação:  
Cenário Arborizado 01 + TTP 03.  
Fonte: Autor.

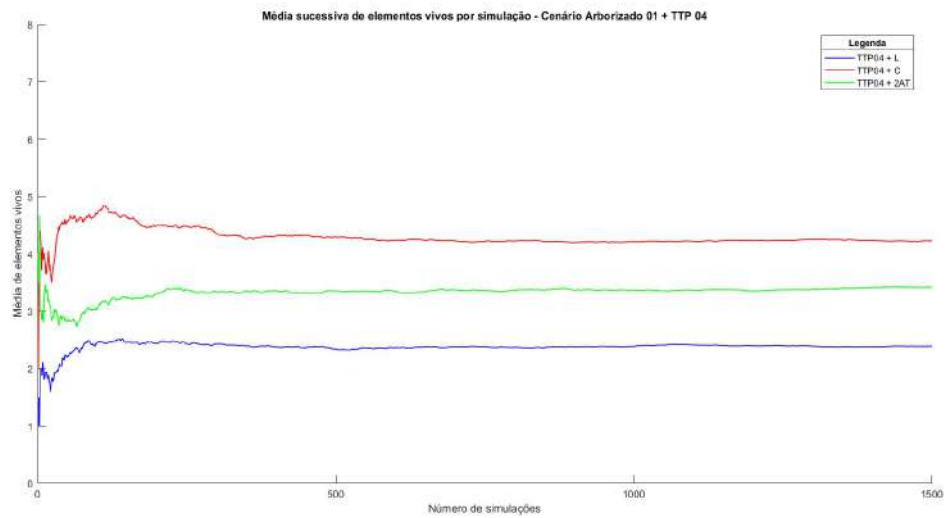


FIGURA 2.15: Média sucessiva de elementos vivos por simulação:  
Cenário Arborizado 01 + TTP 04.  
Fonte: Autor.

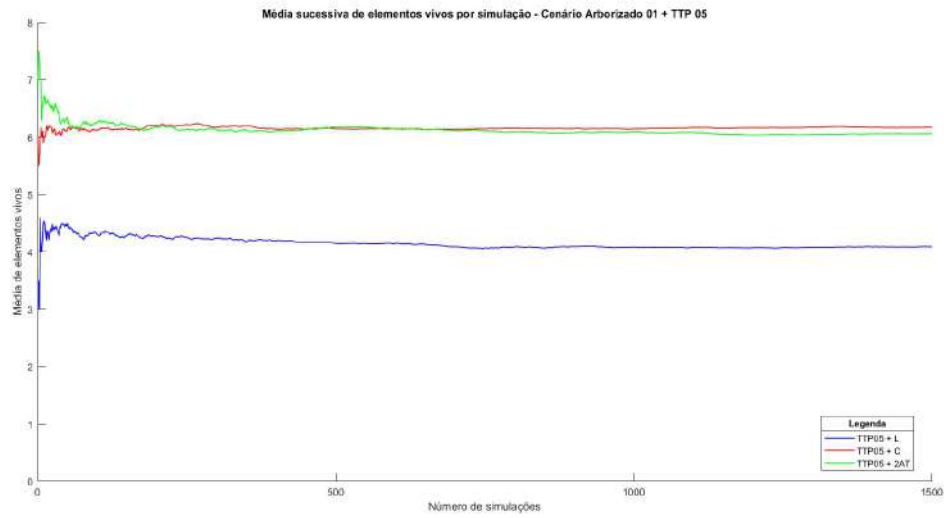


FIGURA 2.16: Média sucessiva de elementos vivos por simulação:  
Cenário Arborizado 01 + TTP 05.  
Fonte: Autor.

Segue, em seguida, os mesmos gráficos mas agora relativos ao Cenário Arborizado 02.

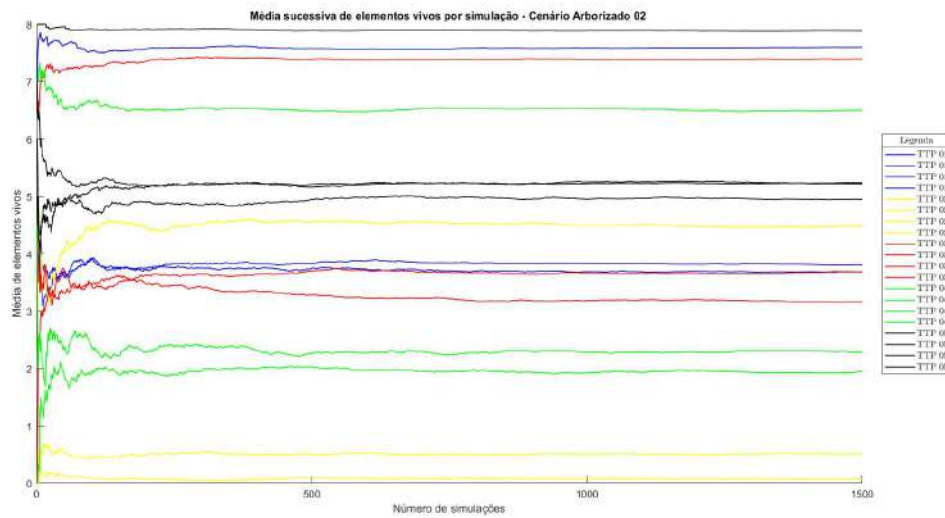


FIGURA 2.17: Média sucessiva de elementos vivos por simulação:  
Cenário Arborizado 02.  
Fonte: Autor.

### 2.3. Resultados obtidos

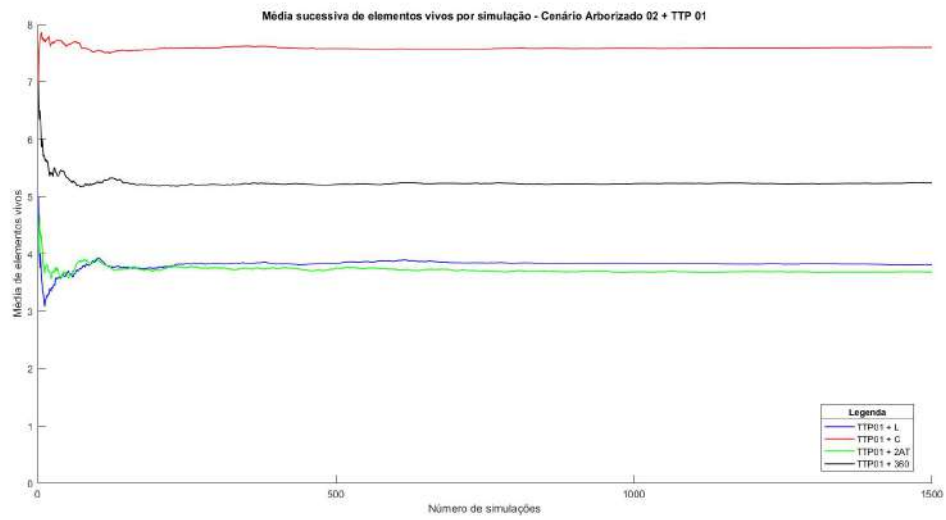


FIGURA 2.18: Média sucessiva de elementos vivos por simulação:  
Cenário Arborizado 02 + TTP 01.  
Fonte: Autor.

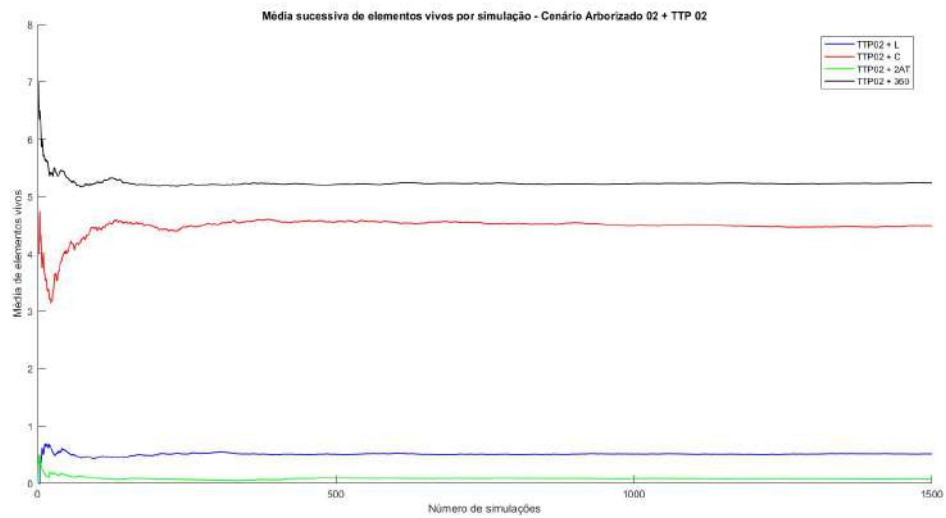


FIGURA 2.19: Média sucessiva de elementos vivos por simulação:  
Cenário Arborizado 02 + TTP 02.  
Fonte: Autor.

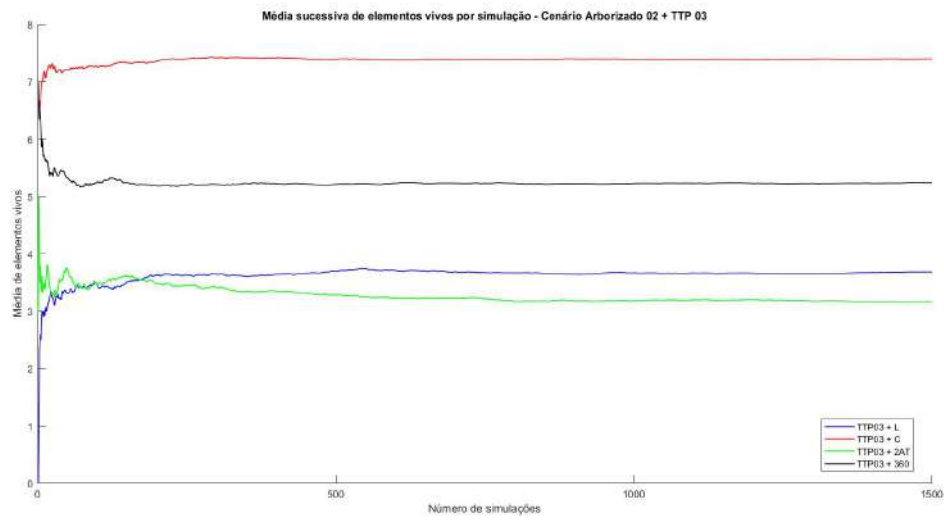


FIGURA 2.20: Média sucessiva de elementos vivos por simulação:  
Cenário Arborizado 02 + TTP 03.  
Fonte: Autor.

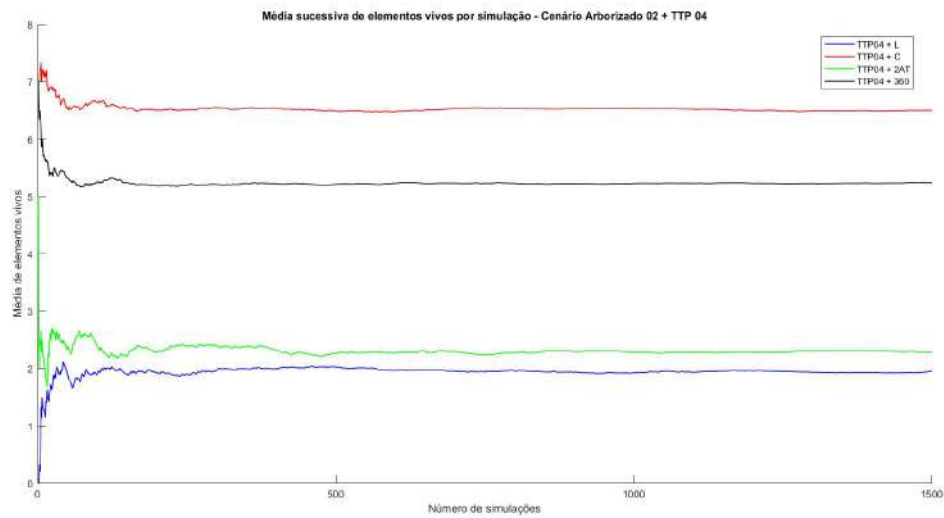


FIGURA 2.21: Média sucessiva de elementos vivos por simulação:  
Cenário Arborizado 02 + TTP 04.  
Fonte: Autor.



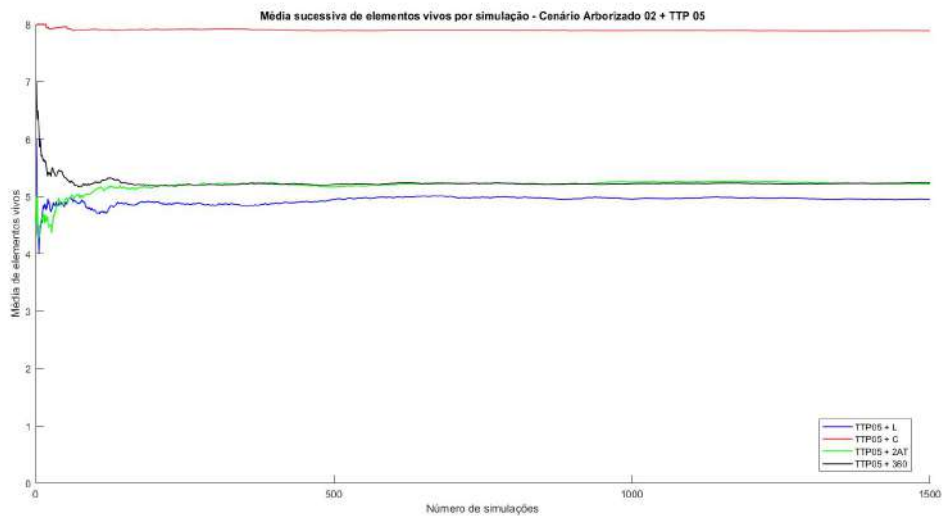


FIGURA 2.22: Média sucessiva de elementos vivos por simulação:  
Cenário Arborizado 02 + TTP 05.  
Fonte: Autor.

Por fim, na figura seguinte, está representado o combinado das várias simulações, agora dividido entre o Cenário Arborizado 01 e 02, a vermelho e azul, respetivamente. Verifica-se, mais uma vez, que existe grande diferença entre os resultados obtidos, conforme o cenário estudado.

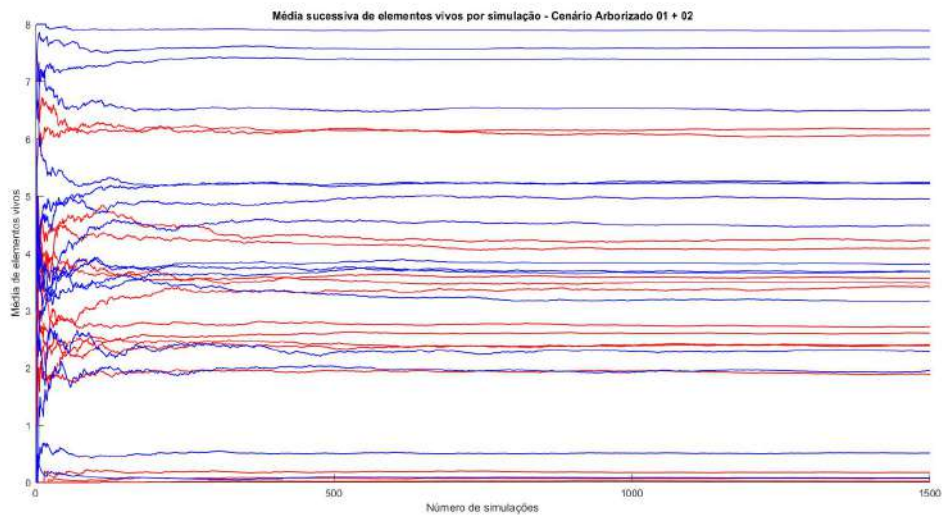


FIGURA 2.23: Média sucessiva de elementos vivos por simulação:  
Cenário Arborizado 01 + 02.  
Fonte: Autor.

## 2.4 Conclusões observadas

Resta agora determinar qual a tática vencedora para cada Cenário e, em seguida, tentar chegar a uma explicação para o porquê desses mesmos resultados. Para concluir qual a TTP vencedora, irão ser analisados as várias MOE obtidas e, através de um quadro, verificar qual das táticas tem melhor resultados nos vários parâmetros estabelecidos. Em seguida, analisar-se-ão as várias táticas por forma a descobrir porque é que umas táticas tem melhores resultados que outras e como maximizar os resultados obtidos. Com base nos subcapítulos anteriores, verifica-se que a tática e a formatura adotadas tem um impacto muito grande nos resultados. No entanto, falta analisar os dados agrupados por tática e por formatura. Como tal, irá ser calculada a média dos resultados a fim de explicar qual a melhor formatura a ser adotada.

TABELA 2.5: Análise da TTP vencedora Cenário Arborizado 01.

Cenário Arborizado 01	Melhor resultado		2º Melhor resultado	
Parâmetro	TTP	Valor	TTP	Valor
Vivos	TTP 05 + C	6.17	TTP 05 + 2AT	6.07
Tempo	TTP 01 + C	142.88s	TTP 05 + C	143.07s
MOE1	TTP 05 + C	0.0431	TTP 05 + 2AT	0.0383
MOE2	TTP 05 + C	98.20%	TTP 04 + C	65.80%
MOE3	TTP 05 + C	6	TTP 05 + 2AT	7
MOE4	TTP 05 + 2AT	23.76%	TTP 04 + C	28.03%

Fonte: Autor.

É agora possível constatar que a TTP 05 + C é a tática vencedora, uma vez que é a que obtém os melhores resultados nos vários parâmetros, com exceção do tempo e da MOE 04. Não obstante, é a que melhor relaciona o número de vivos e o tempo e a que sistematicamente é capaz de concluir a missão com o número mínimo de elementos vivos, com um sucesso de 98.2%. Em segundo classificado, a TTP 05 + 2AT, com o número médio de vivos de 6.07 e com uma taxa de sucesso de 65.8%, de acordo com a medida de eficácia 03.

TABELA 2.6: Análise da TTP vencedora Cenário Arborizado 02.

Cenário Arborizado 02	Melhor resultado		2º Melhor resultado	
Parâmetro	TTP	Valor	TTP	Valor
Vivos	TTP 05 + C	7.89	TTP 01 + C	7.60
Tempo	TTP 01 + C	73.88	TTP 05 + C	74.03
MOE1	TTP 05 + C	0.1065	TTP 01 + C	0.1029
MOE2	TTP 05 + C TTP 03 + C TTP 01 + C	100%	TTP 01 + 360	97.01%
MOE3	TTP 05 + C	0.4	TTP 01 + C	1
MOE4	TTP 05 + 2AT	26.72%	TTP 05 + C	27.44%

Fonte: Autor.

Ao contrário do que inicialmente pensado, para o Cenário Arborizado 02, a tática vencedora é novamente a TTP 05 + C. No entanto, os resultados são superiores aos do cenário anterior. Além disso, o segundo melhor resultado é agora o TTP 01 + C.

Seguem agora os resultados ordenados por TTP e, em seguida, por formatura. Na realização de ambas as tabelas, foi feita a média aritmética dos resultados obtidos anteriormente. Por fim, foi atribuída uma classificação de 1º a 5º classificado, conforme os resultados.

TABELA 2.7: Análise de resultados por TTP - Cenário Arborizado 01.

Arborizado 01	Vivos	Tempo	MOE 01	MOE 02	MOE 03	MOE 04	Class.
TTP 01	2.98	150.96	0.0199	37.56%	17	30.97%	2º
TTP 02	0.09	415.29	0.0002	0.07%	27	31.39%	5º
TTP 03	2.58	163.82	0.0158	21.36%	19	31.57%	3º
TTP 04	3.35	546.64	0.0061	42.98%	16	29.19%	4º
TTP 05	5.44	152.86	0.0358	82.24%	9	28.12%	1º

Fonte: Autor.

No âmbito das TTP, verifica-se que a TTP 05 é a que permite obter melhores resultados para o Cenário Arborizado 01. Segue de seguida os resultados para o próximo cenário, em que se pode constatar que a TTP 05 é novamente a tática vencedora.

TABELA 2.8: Análise de resultados por TTP - Cenário Arborizado 02.

Arborizado 02	Vivos	Tempo	MOE 01	MOE 02	MOE 03	MOE 04	Class.
TTP 01	5.08	85.79	0.0617	78.20%	10	30.97%	2º
TTP 02	1.99	268.74	0.0071	20.57%	20	31.39%	5º
TTP 03	4.78	94.80	0.0533	72.42%	11	31.57%	3º
TTP 04	3.49	284.76	0.0123	47.28%	15	29.19%	4º
TTP 05	5.94	86.14	0.0706	89.90%	7	28.12%	1º

Fonte: Autor.

Por fim, são apresentadas as mesmas tabelas, agora referentes às formaturas adotadas nas várias simulações.

TABELA 2.9: Análise de resultados por formatura - Cenário Arborizado 01.

Arborizado 01	Vivos	Tempo	MOE 01	MOE 02	MOE 03	MOE 04	Class.
L	2.23	297.10	0.0119	23.00%	20	31.05%	3º
C	3.35	292.62	0.0187	47.41%	16	30.79%	1º
2AT	3.08	268.03	0.0161	40.11%	17	28.90%	2º

Fonte: Autor.

TABELA 2.10: Análise de resultados por formatura - Cenário Arborizado 02.

Arborizado 02	Vivos	Tempo	MOE 01	MOE 02	MOE 03	MOE 04	Class.
L	2.98	165.85	0.0288	43.12%	17	31.63%	3º
C	6.77	158.45	0.0692	93.11%	4	29.97%	1º
2AT	2.89	164.41	0.0268	42.75%	17	30.82%	4º
360	4.39	167.47	0.0394	67.72%	12	32.23%	2º

Fonte: Autor.

De acordo com as tabelas anteriores, é possível chegar à conclusão de que a formatura em Coluna é claramente a melhor formatura a ser adotada para qualquer um dos dois cenários estudados. É, mais uma vez, visível a diferença entre os resultados do Cenário Arborizado 01 e o Cenário Arborizado 02.

Por forma a alcançar os melhores resultados possíveis, era de esperar que a melhor combinação entre a tática empregue e a formatura adotada seria a TTP 05 e a formatura em coluna, o que efetivamente foi verificado.



# Conclusão

## Revisão do trabalho realizado

Neste trabalho foi proposto a realização de um simulador capaz de obter resultados robustos para a análise de diferentes táticas, técnicas e procedimentos. Este simulador, encontra-se atualmente numa primeira versão que assumiu o papel de prova de conceito. Em conjunto com outros trabalhos congêneres como em (Orzhekhovskiy, 2020)<sup>6</sup>, foi possível demonstrar as potencialidades deste tipo de ferramenta. Para cumprir com este objetivo, este trabalho foi dividido em três capítulos principais, sendo estes a Introdução, Modelação e, por último, Experimentação e Resultados.

Em primeiro lugar, foi feito um enquadramento do tema e foram apresentados os objetivos propostos. Além disso, é feito um estudo teórico com base em referências e trabalhos anteriores, que foram a base para realização deste trabalho.

Na Modelação, foram recolhidos os modelos propostos a serem implementados, nomeadamente a capacidade para a realização de tiro e alterações de postura. Em seguida, os mesmos modelos são transformados em processos obtendo as valências de desenvolvimento de cenários, criar forças atacantes e defensoras, busca visual, tiro, movimento, TTP. É também neste capítulo que foi explicado como foram construídas todas as ferramentas do simulador, bem como o funcionamento do mesmo com recurso a fluxogramas.

Em Experimentação e Resultados, foram construídos dois cenários arborizados e foi atribuída uma missão à força atacante. Esta missão, definida com recurso aos cinco parágrafos de uma Ordem de Operações, foi a base para a realização dos testes realizados. Realmente, foram realizadas 52500 simulações num período de 77.5 horas, conseguindo assim simular um período de 1787 horas ou, aproximadamente, 75 dias. Em seguida, foram analisados os vários resultados obtidos, sendo possível constatar que dependendo da tática realizada, são conseguidos resultados diferentes e que o próprio cenário é uma característica que está diretamente relacionada com os mesmos resultados. Julga-se que estes resultados são principalmente afetados pelos fatores de visibilidade, que influenciam toda a simulação. Quanto menor for o tempo de exposição de um agente até ao seu destino final, menor é a probabilidade de ser alvo de tiro. Assim, conclui-se que para atingir os melhores resultados possíveis, é necessário fazer testes aos campos de visibilidade e optar por táticas que sejam rápidas e que minimizem o tempo exposto. Observou-se que, para além da tática

---

<sup>6</sup> Apresentação do autor apresentada na Conferência IDEIA 2020.

empregue, a formatura adotada é também um fator importante, obtendo diferentes resultados para cada formatura.

É possível concluir que o uso de simuladores tem um enorme campo de aplicação e é possível obter resultados que de outra forma não seria possível. De facto, o uso de simuladores foi utilizado em outros trabalhos para a validação de um diferente conceito de operações. O autor utiliza um simulador desenvolvido para forças genéricas e, uma vez adaptado para Forças de Fuzileiros, consegue obter os seus resultado e conclusões. Com isto, pretende-se demonstrar a aplicabilidade deste tipo de ferramenta e, acreditando na continuidade deste trabalho, será possível obter resultados ainda mais precisos caso seja possível continuar a modelar e a implementar processos mais realistas, complexos e referentes aos militares do Corpo de Fuzileiros.

Concluindo ambos os objetivos propostos no início da dissertação, resta realçar que é possível melhorar e refinar o trabalho aqui desenvolvido, obtendo graus de liberdade que até aqui não foram implementados. Nomeadamente, é possível implementar outro tipo de posturas, tanto para o movimento como para posições de tiro, alterações de comportamento, agentes com personalidades e características diferentes, outro tipo de armamento, sensores e formas de comunicação.

É também importante realçar as dificuldades sentidas na realização deste trabalho. Destas, as seguintes foram as que mais se destacaram: Não existe nenhuma unidade curricular no plano de estudos da Escola Naval unicamente dedicada a modelação, processos e simulação, o que levou a que todos os tópicos aqui abordados tivessem que ser aprendidos de raiz.

Em seguida, e apesar das muitas referências sobre esta temática, existem poucos valores concretos divulgados para as fórmulas de tiro e velocidades de progressão e quando estas existem muitas das vezes não se aplicam as Forças de Fuzileiros ou aos cenários aqui estudados. Também relativamente a esta problemática, não foram encontrados valores concretos referentes a exercícios realizados por Fuzileiros. A inexistência deste tipo de ferramentas leva a que não haja a devida preocupação com a recolha de dados que podiam ser utilizados para afinar os modelos, tornando-os realistas e com o devido foco. Como tal, foram tomados alguns pressupostos racionais e sensatos para o bom funcionamento do simulador.

## Propostas para trabalhos futuros

A construção de um simulador carece inevitavelmente de atualizações, implementação de novas ideias e da refinação de todo o trabalho até aqui construído. Desde modo, seguem as seguintes sugestões para trabalhos futuros que visam completar e dar continuidade a este projeto.

Para dar continuidade direta a este trabalho, é feita a recomendação de validar os resultados obtidos nos capítulos anteriores, com uma experiência prática e real. Isto visa não só permitir realizar ajustes no simulador, mas também verificar o correto funcionamento do mesmo. No âmbito da modelação, foi verificado que este trabalho carece da capacidade de os agentes serem detetados pelo ruído provocado



pelo movimento dos mesmos. Este é um aspeto importante e que após a devida recolha de informações pode facilmente ser implementado no simulador. Relativamente aos processos desenvolvidos, e para tornar os cenários cada vez mais credíveis, destaca-se a importância de acrescentar a valência de tiro à Força Atacante. Este é o próximo passo e grande desafio proposto para os próximos aspirantes da Escola Naval que sintam interesse nesta área e queiram garantir a sua perpetuação.

Finalmente, uma última proposta, sendo esta dirigida ao Corpo de Fuzileiros. Na realização de todo o este trabalho, por várias vezes foi verificado a inexistência de um organismo ou serviço dedicado exclusivamente à recolha e análise de dados obtidos nos exercícios realizados. Como tal, é proposta a ideia da criação de uma equipa de trabalho com o foco no desenvolvimento e análise de táticas, acreditando que no futuro seja dada a devida importância a uma área que ainda tem tanto para oferecer.



# Bibliografia

- Aebischer, N. J., Wheatley, C. J. & Rose, H. R. (2014). Factors Associated with Shooting Accuracy and Wounding Rate of Four Managed Wild Deer Species in the UK, Based on Anonymous Field Records from Deer Stalkers (C. Sueur, Ed.). *PLoS ONE*, 9(10), e109698. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109698>
- Arnold, A. S., Wilson, J. S., Boshier, M. G. & Smith, J. (1998). A Simple Extended-Cavity Diode Laser. *Review of Scientific Instruments*, 69(3), 1236–1239. <http://link.aip.org/link/?RSI/69/1236/1>
- Babilot, M. (2005). *Comparison of a Distributed Operations Force to a Traditional Force in Urban Combat* (tese de doutoramento September). Naval Postgraduate School.
- Beck, J. C., Prosser, P. & Selensky, E. (2003). Vehicle Routing and Job Shop Scheduling : What's the difference? *13th International Conference on Artificial Intelligence Planning and Scheduling (ICAPS)*, (May), 267–276. <http://www.aaai.org/Papers/ICAPS/2003/ICAPS03-027.pdf>
- Bednowitz, N., Batta, R. & Nagi, R. (2014). Dispatching and loitering policies for unmanned aerial vehicles under dynamically arriving multiple priority targets. *Journal of Simulation*, 8(1), 9–24. <https://doi.org/10.1057/jos.2011.22>
- Berzins, V., Luqi, Shing, M., Saluto, M. & Williams, J. (1999). *Re-engineering the Janus(A) Combat Simulation System* (rel. téc.). Naval Postgraduate School. Monterey.
- Brunyé, T. T., Martis, S. B., Horner, C., Kirejczyk, J. A. & Rock, K. (2018). Visual salience and biological motion interact to determine camouflaged target detectability. *Applied Ergonomics*, 73, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.05.016>
- Caiti, A., Munafo, A. & Vettori, G. (2012). A Geographical Information System (GIS)-Based Simulation Tool to Assess Civilian Harbor Protection Levels. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 37(1), 85–102. <https://doi.org/10.1109/JOE.2011.2174675>
- Caldeira, J. (2012). *100 Indicadores da Gestão*. Coimbra.
- Campbell, J. & Shin, M. (2011). *Essentials of Geographic Information Systems*. Saylor Foundation.
- Cassal, S. B. (2006). *A Arte da Guerra/Sun Tzu: Tradução de Sueli*. Porto Alegre.
- Cavaleiro, S., Gomes, C. & Lopes, M. P. (2018). *A simulação como ferramenta de desenvolvimento de competências*, Instituto Politécnico de Tomar.
- Cerrone, C., Cerulli, R. & Golden, B. (2017). Carousel greedy: A generalized greedy algorithm with applications in optimization. *Computers and Operations Research*, 85(April), 97–112. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.03.016>

- de Carvalho, P. A. M. (2017). *O Uso de Simuladores Certificados para a Formação Inicial e Contínua dos Controladores de Tráfego Aéreo da Força Aérea no Controlo de Aeródromo e Aproximação (Convencional e Radar)*, INSTITUTO UNIVERSITÁRIO MILITAR DEPARTAMENTO DE ESTUDOS PÓS-GRADUADOS.
- Development, C. & Centre, D. (2014). Joint Doctrine Publication 01, 135.
- Ec. (2010). Risk Assessment and Mapping Guidelines for Disaster Management. *Commission Staff Working Paper SEC(2010) 1626 final, European Commission*, 1–43. [http://ec.europa.eu/echo/civil%7B%5C\\_%7Dprotection/civil/prevention%7B%5C\\_%7Drisk%7B%5C\\_%7Dassessment.htm](http://ec.europa.eu/echo/civil%7B%5C_%7Dprotection/civil/prevention%7B%5C_%7Drisk%7B%5C_%7Dassessment.htm)
- Eppinger, S. D. & Browning, T. R. (2012). *Design Structure Matrix Methods and Applications*. The MIT Press. <https://doi.org/10.7551/mitpress/8896.001.0001>
- EUROSUR. (2011). Application of surveillance tools to Border Surveillance 'Concept of Operations'. [https://ec.europa.eu/research/participants/portal/doc/call/fp7/fp7-space-2012-1/31341-2011%7B%5C\\_%7Dconcept%7B%5C\\_%7Dof%7B%5C\\_%7Doperations%7B%5C\\_%7Dfor%7B%5C\\_%7Dthe%7B%5C\\_%7Dcommon%7B%5C\\_%7Dapplication%7B%5C\\_%7Dof%7B%5C\\_%7Dsurveillance%7B%5C\\_%7Dtools%7B%5C\\_%7Din%7B%5C\\_%7Dthe%7B%5C\\_%7Dcontext%7B%5C\\_%7Dof%7B%5C\\_%7Deurosur%7B%5C\\_%7Den.pdf](https://ec.europa.eu/research/participants/portal/doc/call/fp7/fp7-space-2012-1/31341-2011%7B%5C_%7Dconcept%7B%5C_%7Dof%7B%5C_%7Doperations%7B%5C_%7Dfor%7B%5C_%7Dthe%7B%5C_%7Dcommon%7B%5C_%7Dapplication%7B%5C_%7Dof%7B%5C_%7Dsurveillance%7B%5C_%7Dtools%7B%5C_%7Din%7B%5C_%7Dthe%7B%5C_%7Dcontext%7B%5C_%7Dof%7B%5C_%7Deurosur%7B%5C_%7Den.pdf)
- Exército Português. (2012). PDE3-00.
- Fabbri, T., Nardi, S., Isgró, L., Pallottino, L. & Caiti, A. (2016). Assessing the Potential of Autonomous Multi-agent Surveillance in Asset Protection from Underwater Threats. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-47605-6\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-47605-6_17)
- Faria, H. A. R. (2013). *Modelação Comportamental de Agentes Inteligentes*, Escola Naval.
- Ferreira, A. (2017). *Utilização o do Simulador de Navegação na formação académica e profissional: Linhas de ação para melhorar a formação dos cadetes da Escola Naval para o desempenho de funções como Oficial de Quarto à Ponte* (tese de doutoramento). Escola Naval.
- Fish, L. & Scharre, P. (2018). The Soldier's Heavy Load. [www.cnas.org/publications/report/yhe-soldiers-heavy-load-1](http://www.cnas.org/publications/report/yhe-soldiers-heavy-load-1)
- García, S. & Marín, A. (2015). Covering Location Problems. Em *Location Science* (pp. 93–114). Cham, Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-13111-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-13111-5_5)
- Ghiani, G., Guerriero, F., Laporte, G. & Musmanno, R. (2003a). Real-time vehicle routing: Solution concepts, algorithms and parallel computing strategies. *European Journal of Operational Research*, 151(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00915-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00915-3)
- Ghiani, G., Guerriero, F., Laporte, G. & Musmanno, R. (2003b). Real-time vehicle routing: Solution concepts, algorithms and parallel computing strategies. *European Journal of Operational Research*, 151(1), 1–11. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00915-3](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00915-3)

- Guerra, B. R. V. (2019). *Implementação de um curso único de supervisor operacional de tráfego aéreo na Força Aérea* (tese de doutoramento). Instituto Universitário Militar.
- Hawthorn, C. J., Weber, K. P. & Scholten, R. E. (2001). Littrow Configuration Tunable External Cavity Diode Laser with Fixed Direction Output Beam. *Review of Scientific Instruments*, 72(12), 4477–4479. <http://link.aip.org/link/?RSI/72/4477/1>
- Hedges, D. (2010). Environmental Factors That Affect Accuracy. Obtido 2 outubro 2019, de [www.longrangebpcr.com/Accuracy](http://www.longrangebpcr.com/Accuracy)
- Horne, G. & Leonardi, M. (2001). *Maneuver Warfare Science*. QUANTICO, 2001 MARINE CORPS COMBAT DEV. COMMAND.
- Ilachinski, A. (1997). *Irreducible Semi-Autonomous Adaptive Combat (ISAAC): An Artificial-Life Approach to Land Warfare*. Center of Naval Analyses.
- Khamis, A., Hussein, A. & Elmogy, A. (2015). Multi-robot task allocation: A review of the state-of-the-art. Em *Studies in Computational Intelligence* (pp. 31–51). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-18299-5\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-18299-5_2)
- Law, A. M. & Kelton, W. D. (1991). *Simulation Analysis* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1201/9781351074681-5>
- Levine, R., Schelling, T. C. & Jones, W. (1991). *Crisis games 27 years after: Plus c'est déjà vu*.
- Martins, J. J. M. (2017). *Métodos Eficientes de Simulação e Otimização em Problemas de Segurança Portuária* (tese de doutoramento). Universidade de Lisboa.
- Martins, J. M. & Rodrigues, A. (2015). Comparing dispatching heuristics in harbour protection problems using an agent-based simulator, 12.
- Ministério da Defesa Nacional & Marinha, E. d. F. (2012). MEESCOLFUZ 204 - Manual de Infantaria de Combate. *Vale de Zebro*.
- Moskaliuk, J., Bertram, J. & Cress, U. (2013). Impact of virtual training environments on the acquisition and transfer of knowledge. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 16(3), 210–214. <https://doi.org/10.1089/cyber.2012.0416>
- NATO Standardization agency. (2000). STANAG 2014 - Formats for orders and designation of timings, locations and boundaries.
- NATO Standardization agency. (2006). STANAG 2287 - Task Verbs for use in planning and the dissemination of orders. NSA.
- NATO Standardization agency. (2010). AJP-01 ( D ) Allied Joint Doctrine.
- NATO Standardization agency. (2011). APP-6 (C) - NATO Joint Military Symbolology. [http://armawiki.zumorc.de/files/NATO/APP-6\(C\).pdf](http://armawiki.zumorc.de/files/NATO/APP-6(C).pdf)
- Nieuwenhuys, A. & Oudejans, R. R. (2010). Effects of anxiety on handgun shooting behavior of police officers: a pilot study. *Anxiety, Stress & Coping*, 23(2), 225–233. <https://doi.org/10.1080/10615800902977494>
- Orzhekhovskiy, Y. (2020). Desenvolvimento e Análise Robusta de Táticas Terrestres (DART-T).
- Reynolds, W. N. & Dixon, D. S. (2001). The Archimedes Combat Modeling Platform, (December 1999).
- Robinson, S. (2004). *Simulation: The Practise of Model Development and Use*.

- Roci, A. & Davidrajuh, R. (2018). A polynomial-time alpha-algorithm for process mining. *International Journal of Simulation: Systems, Science and Technology*, 19(5), 12.1–12.7. <https://doi.org/10.5013/IJSSST.a.19.05.12>
- Roque, C. (2010). Os Simuladores de Treino na Marinha. *Portugal*.
- Sabin, P. (2012). *Simulating War: Studying conflict through simulation games*.
- Shen, X., Zhang, M. & Fu, J. (2014). Multi-Objective dynamic job shop scheduling: A survey and prospects. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 10(6), 2113–2126.
- Silver, E. A. (2004). An overview of heuristic solution methods. *Journal of the Operational Research Society*, 55(9), 936–956. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601758>
- Silver, E. A., Victor, R., Vidal, V. & de Werra, D. (1980). A tutorial on heuristic methods. *European Journal of Operational Research*, 5(3), 153–162. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(80\)90084-3](https://doi.org/10.1016/0377-2217(80)90084-3)
- Simetti, E., Turetta, A., Casalino, G., Storti, E. & Cresta, M. (2009). Towards the Use of a Team of USVs for Civilian Harbour Protection: Real Time Path Planning with Avoidance of Multiple Moving Obstacles. *IEEE IROS09 3rd Workshop on Planning, Perception and Navigation for Intelligent Vehicles*.
- Simmons, B. I., Hoeppeke, C. & Sutherland, W. J. (2019). Beware greedy algorithms (A. Eklöf, Ed.). *Journal of Animal Ecology*, 88(5), 804–807. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12963>
- Smith, R. D. (1999). Simulation: The Engine Behind The Virtual World. Em *Simulation 2000 Series* (p. 72).
- Standardization Office, N. (2016). NATO STANDARD AJP-3.2 ALLIED JOINT DOCTRINE FOR LAND OPERATIONS Edition A Version 1, (March).
- Stéphane Galland. (2015). Multiagent Systems and Agent-based Simulation.
- Szinte, M. & Cavanagh, P. (2012). Apparent Motion from Outside the Visual Field, Retinotopic Cortices May Register Extra-Retinal Positions (M. H. Herzog, Ed.). *PLoS ONE*, 7(10), e47386. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0047386>
- U.S.Marine Corps. (1997a). *Warfighting*. Washington, D.C.
- U.S.Marine Corps. (1997b). *Warfighting*. <https://doi.org/10.4324/9780203323120.ch6>
- Wang, B. (2010). *Coverage Control in Sensor Networks*. London, Springer London. <https://doi.org/10.1007/978-1-84996-059-5>
- Westpah, T. & Guffey, J. (2014). Measures of Effectiveness in Army Doctrine. Obtido 1 abril 2020, de [https://www.benning.army.mil/armor/eARMOR/content/issues/2014/OCT%7B%5C\\_%7DDEC/Westphal.html](https://www.benning.army.mil/armor/eARMOR/content/issues/2014/OCT%7B%5C_%7DDEC/Westphal.html)
- Wieman, C. E. & Hollberg, L. (1991). Using Diode Lasers for Atomic Physics. *Review of Scientific Instruments*, 62(1), 1–20. <http://link.aip.org/link/?RSI/62/1/1>

## Apêndice A - Vídeo do simulador

Foi elaborado um vídeo para demonstrar o funcionamento do simulador. Neste pequeno trabalho é possível observar a construção de cenários, uma simulação e uma simulação em modo robusto. Os vídeo foi gravado com recurso às ferramentas do *Zoom* e editado com a aplicação *Movie Marker*.

Link do vídeo: [https://www.youtube.com/watch?v=7EI\\_K4cWn3E&t=](https://www.youtube.com/watch?v=7EI_K4cWn3E&t=)








## Anexo I - DART-T - Apresentação na Conferência IDEIA 2020

O seguinte trabalho, da autoria do autor, foi apresentado na Conferência Investigação, Desenvolvimento, Experimentação e Inovação da Armada 2020 (IDEIA 2020) que teve lugar na Escola Naval entre os dias 23 e 24 de janeiro de 2020.

Nesta conferência, organizada pelo Centro de Investigação Naval (CINAV), permitiu a partilha e a discussão de problemas das diversas áreas funcionais da Marinha, a apresentação de projetos e a importância de todas as contribuições para uma trajetória de permanente inovação.






## Agenda

- Objetivo do simulador
- Características do simulador
- Modelos
- Processos
- Graus de liberdade
- Produtos resultantes
- Conclusão


08.05.20

2




## Objetivo do simulador

Ferramenta para análise de TTP



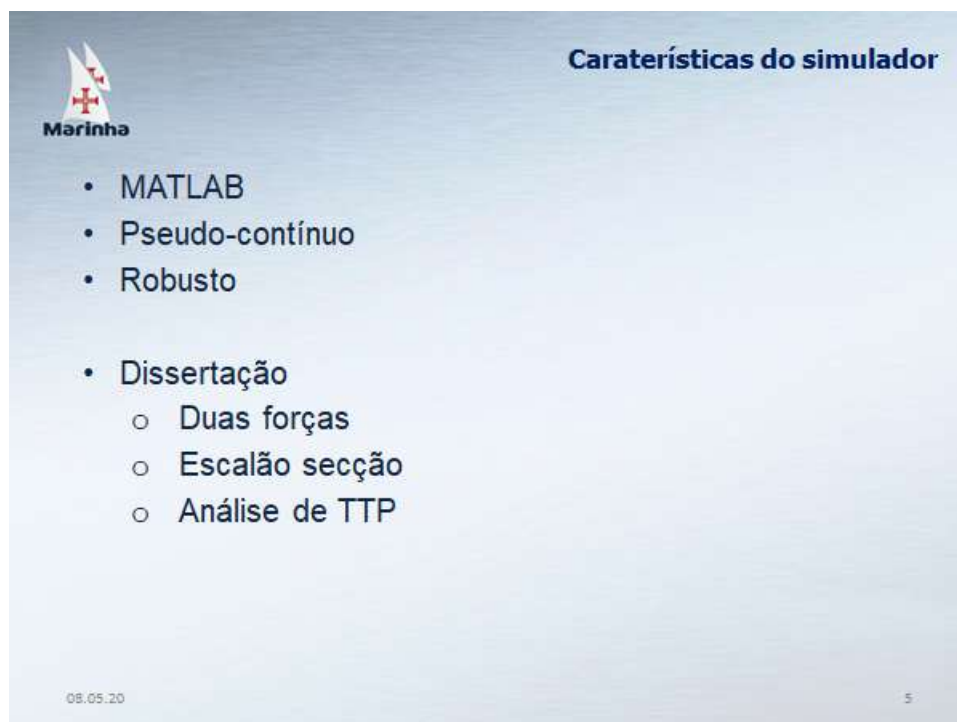
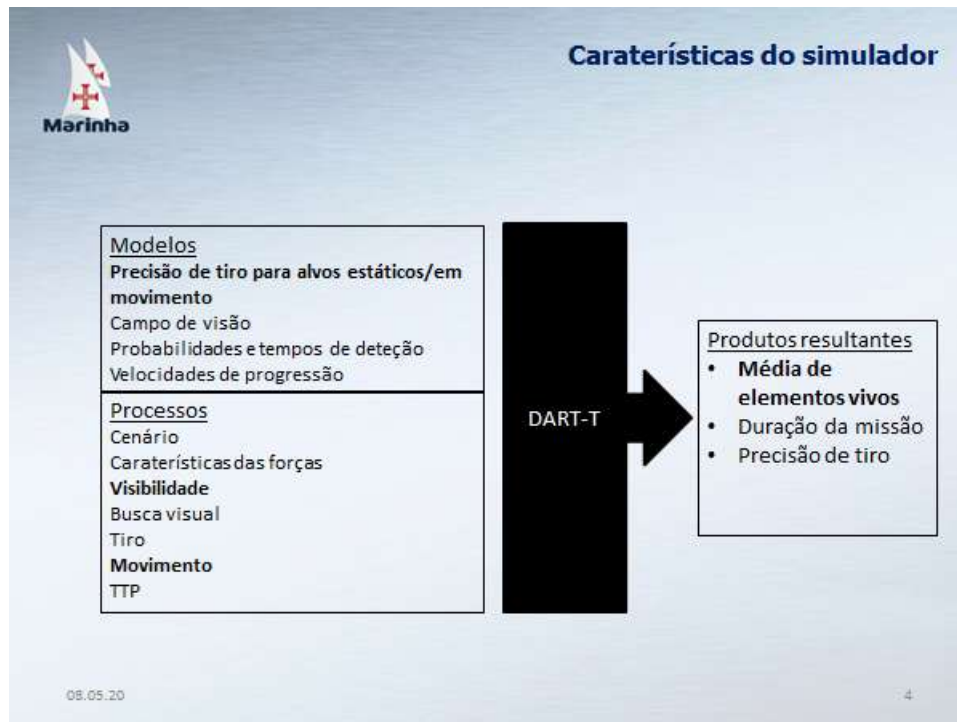
Validação de novos conceitos e doutrinas

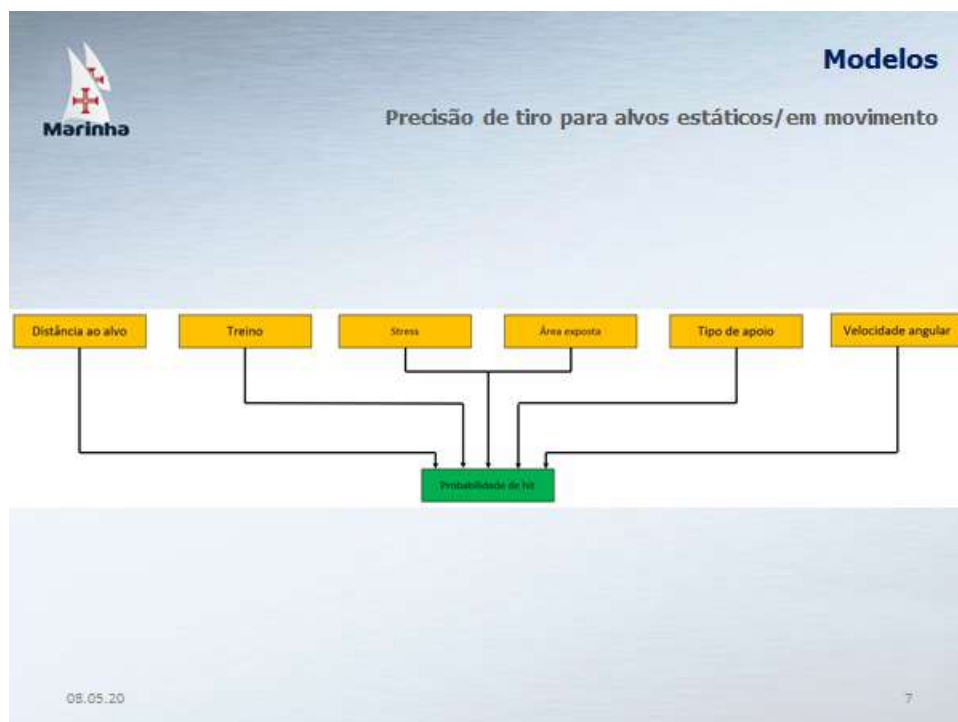


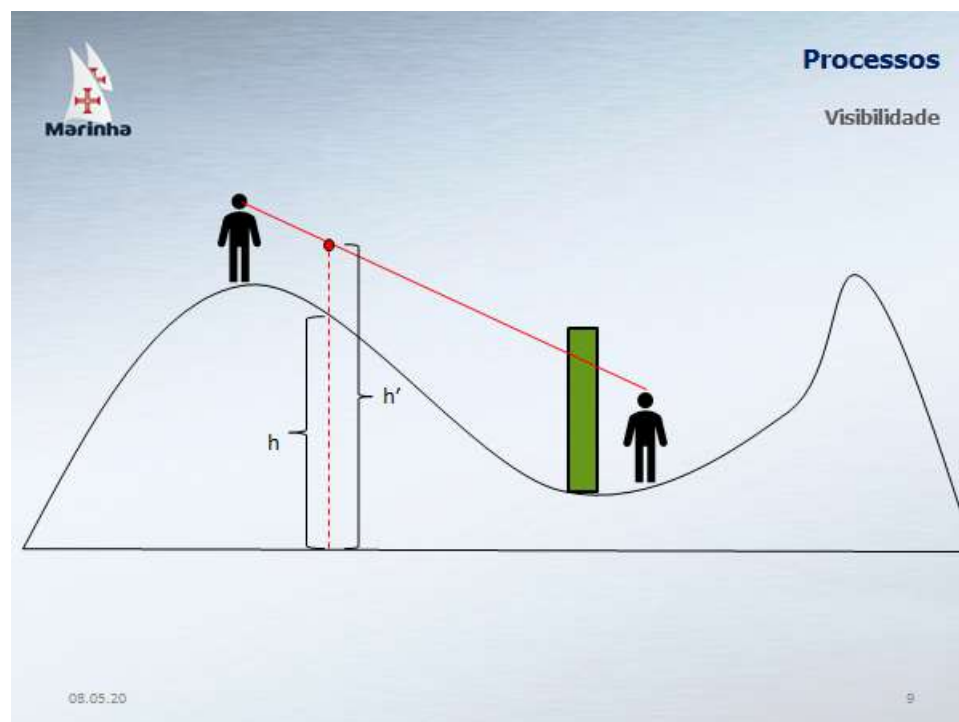
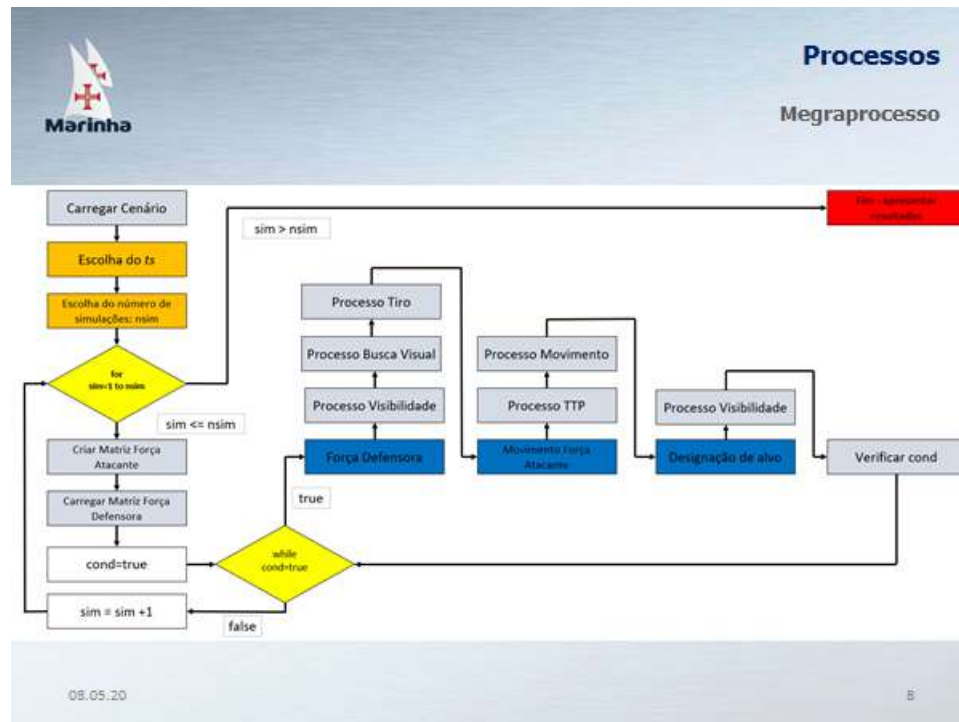
Redução de custos

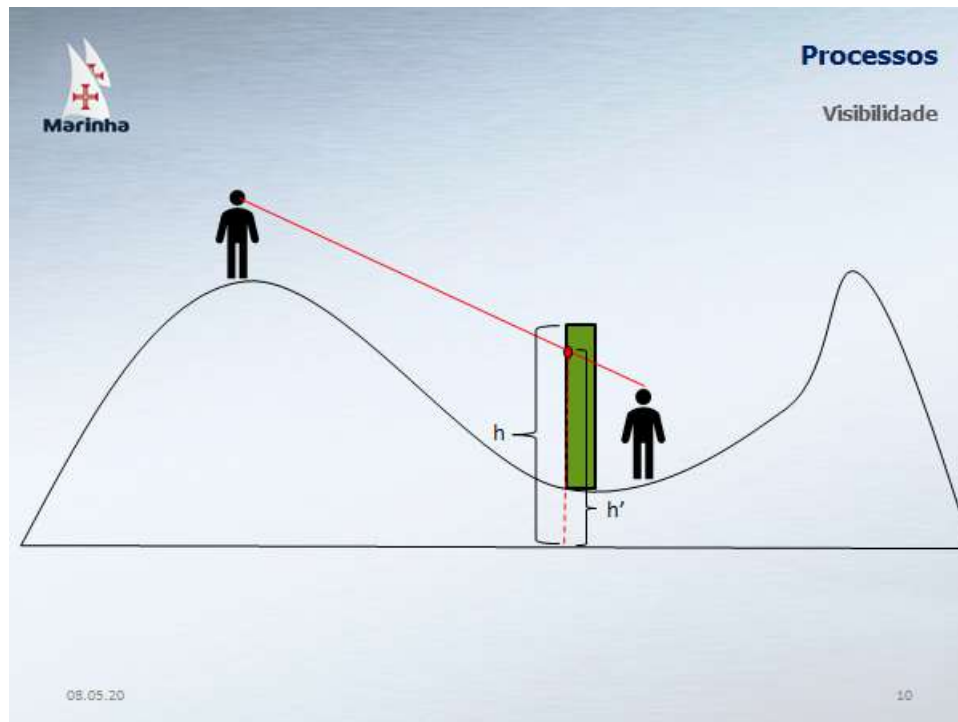
08.05.20

3













**Graus de liberdade**

- Técnicas, Táticas e Procedimentos
  - Alterações de postura
  - Velocidades de progressão
  - Destino
- Alterações de comportamento
- Agentes com personalidades e características distintas
- Sistemas de armas/sensores/comunicações

08.05.20

12





**Marinha**

**Conclusão**

Dificuldades sentidas e trabalhos realizados

- Falta de experiência
- Poucos dados/valores
- Aceitação de novas ideias

Cenário Arborizado vs Cenário Urbano

Quais as melhores TTP a serem empregues

08.05.20 14



**Marinha**

**FIM**

**Dúvidas?**

08.05.20 15



## Anexo II - Paintball - Testes para a precisão de tiro e tempo de aquisição de alvo

O seguinte anexo, elaborado pelo ASPOF FZ Rosado Jones, contou com a colaboração do autor bem como do ASPOF FZ Martins Guilherme e foi utilizado como fonte para a modelação e obtenção de valores referentes à precisão de tiro e todos os tempo daí associados.

### Introdução e Objetivos

Para a modelação da interação entre agentes no terreno e em situações de contacto com um inimigo, torna-se necessário modelar a precisão de tiro do atirador para um alvo em movimento. Uma vez que o alvo não se movimenta apenas em linha reta e a uma velocidade constante na direção do atirador mas sim em direções e velocidades variáveis, existe a necessidade de em cada *time-step* calcular a velocidade radial do alvo relativamente ao atirador e atribuir ao atirador uma precisão de tiro de acordo com as diferentes velocidades que este vai praticando.

Para além disto, existe também a necessidade de calcular qual o tempo de aquisição de um alvo em movimento e qual o intervalo de tempo entre disparos, ou seja, desde que o alvo foi adquirido e o primeiro tiro foi dado, até voltar a adquirir o alvo e voltar a disparar sobre o mesmo.

Dada a impossibilidade de calcular estes valores com armamento real e munições reais e visto que o tipo de armamento e/ou projétil não tem influência nestes parâmetros, foi decidido em conjunto com o Camarada Orzhekhovskiy, realizar uma série de testes num ambiente controlado, numa instalação de *Paintball* com o respetivo equipamento. Estes testes permitiriam calcular os valores pretendidos, podendo ser realizados sem o perigo inerente à utilização de armamento real em pessoas.

Assim, no dia 5 de novembro de 2019, entre as 1500 e as 1800, os ASPOF FZ Rosado Jones, ASPOF FZ Vladislavovich Orzhekhosvskiy e juntamente com a ajuda do ASPOF FZ Martins Guilherme, dirigiram-se às instalações da *NEST Paintball*, em Fernão Ferro, que se mostraram disponíveis para nos receber e facilitar o equipamento e condições necessárias à realização dos testes pretendidos.



FIGURA A1: Local da realização dos testes.

## Equipamento

Para a realização dos testes todos os participantes envergaram equipamento de proteção corporal, constituído por um fato de corpo inteiro, um colete com proteção para a zona do tronco, capacete com viseira para proteção visual e do rosto.

Foram disponibilizados dois marcadores de Paintball (armas), juntamente com duas cargas de 500 munições (bolas com tinta), que permitiam observar e registar os impactos.

Para a anotação dos tempos, foi utilizado um cronómetro manual e um caderno com uma tabela para cada série de testes onde após cada “passagem” eram apontados os resultados.

## Realização dos testes

Foi posicionado um local fixo para o atirador e delimitada uma área com 10 metros de comprimento por 16 metros de largura, sendo que o atirador se encontrava a 10 metros da posição central do percurso do alvo em movimento, de acordo com a figura anexa.

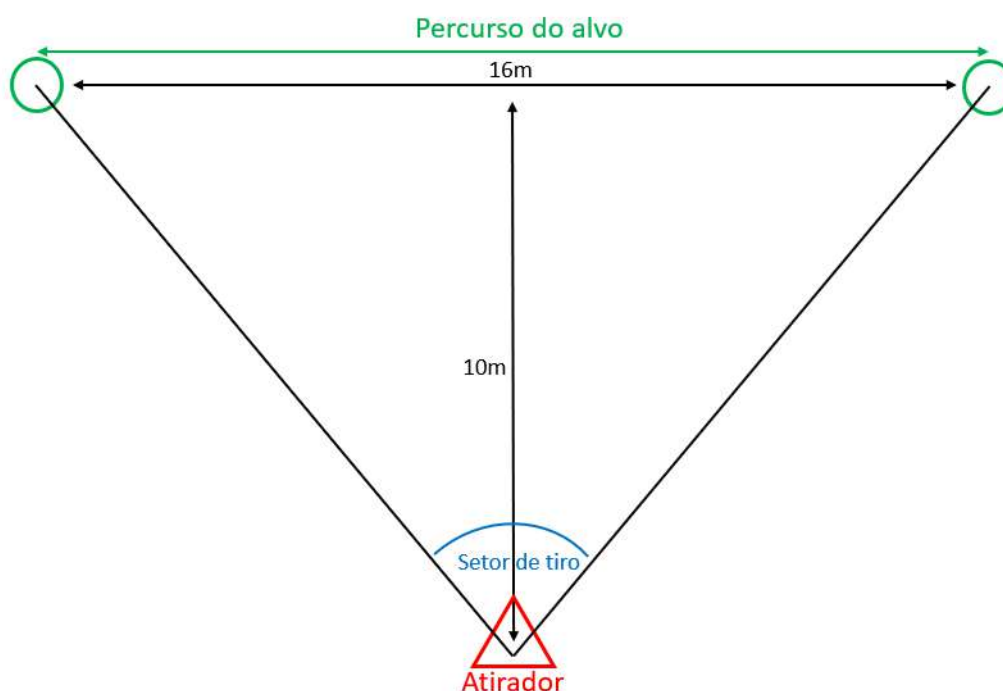


FIGURA A2: Esquema da realização dos testes.

Para uma maior robustez nos testes, todos os participantes fizeram tanto as funções de alvo como de atirador. Foram executadas 10 passagens por cada participante, para cada velocidade, num total de 30 passagens para cada velocidade. Todas as passagens foram cronometradas e se alguma não estivesse dentro dos parâmetros pretendidos para a velocidade, seria ignorada e repetida. Todos os impactos foram registados numa tabela previamente preparada.

Foram efetuados os testes a 3 velocidades distintas, correspondendo às velocidades de *Marcha*, *Corrida* e *Sprint*, com os mesmos valores que foram introduzidos no simulador para estas ações. Os valores atribuídos foram de  $6.66\text{km/h}$  ( $1.85\text{m/s}$ ) para *Marcha*,  $10\text{km/h}$  ( $2.78\text{m/s}$ ) para *Corrida* e  $12.42\text{km/h}$  ( $3.45\text{m/s}$ ) para *Sprint*.

## Resultados

### Precisão de tiro para alvos em movimento

TABELA 1 - 01 A CORRER												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média (V)	Média (HIT)
V1	9.44	8.59	8.08	9.65	9.28	8.52	8.1	8.45	8.63	8.12	8.686	0.7
V2	5.99	5.37	5.72	6.3	6.29	5.65	6.36	5.56	6.11	5.89	5.924	0.5
V3	4.48	4.57	3.86	4.15	4.5	4.4	4.45	4.5	4.51	4.83	4.425	0.5
TABELA 2 - 02 A CORRER												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média (V)	Média (HIT)
V1	8.61	9.97	8.77	9.66	9.4	8.54	8.86	8.22	9	8.56	8.959	0.5
V2	6.5	6.17	5.31	6.5	6.2	5.82	6.05	5.49	6.18	6.12	6.034	0.3
V3	4.43	5.47	4.77	4.77	5.14	4.95	5.12	4.62	5.33	5.66	5.026	0.2
TABELA 3 - 03 A CORRER												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média (V)	Média (HIT)
V1	8.97	8.56	8.61	8.05	8.63	8.52	8.65	8.58	9.37	8.02	8.596	0.8
V2	5.2	5.4	5.08	5.28	5.79	5.46	5.76	6.05	5.81	6.21	5.604	0.6
V3	5.12	4.61	4.77	5.03	4.59	4.36	4.51	4.78	4.27	4.41	4.645	0.4

FIGURA A3: Tabela de registo de *hits* e tempos para percorrer o percurso, em segundos.

Após o registo e durante a fase de análise dos resultados, foi calculada a média de tempo demorado por passagem, a cada velocidade, para garantir que estavam dentro dos parâmetros e de seguida foram calculadas as médias de hit por velocidade, obtendo-se os seguintes resultados:

	Média de tempo por passagem	Média de hits	Velocidade em km/h - m/s
Marcha	8.747	0.667	6.66 – 1.85
Corrida	5.854	0.467	10 – 2.78
Sprint	4.699	0.367	12.42 – 3.45

FIGURA A4: Resultados testes precisão de tiro.

De seguida, converteu-se as velocidades em  $m/s$  para velocidade radial (em  $rad/s$ ), de acordo com o ângulo existente entre a posição do atirador e os limites dos setores do percurso efetuado pelo alvo em movimento, obtendo os seguintes valores, que foram aplicados no simulador: Marcha –  $8.8 rad/s$ , Corrida –  $13.2 rad/s$ , Sprint –  $16.4 rad/s$ .

## Tempo de aquisição do alvo em movimento e tempos entre tiros

Para este teste, o procedimento efetuado foi o seguinte:

O atirador encontrava-se virado de costas para o setor onde o “alvo” iria passar. O alvo iniciava o seu movimento, ou do limite esquerdo ou do limite direito, aleatoriamente para eliminar quaisquer variáveis que pudessem surgir por o atirador já saber de que lado iria ser iniciado o percurso. À voz do elemento que estava a apontar os resultados, o alvo começava o percurso e o atirador virava-se para o setor, pelo lado que escolhesse, também aleatoriamente.

De seguida, o atirador adquiria o alvo e efetuava dois disparos de seguida. Foram cronometrados os tempos até o atirador efetuar o primeiro disparo e o tempo entre o primeiro e o segundo disparo. Para este teste, não foram contabilizados os impactos, uma vez que não tem interferência para os resultados pretendidos.

Todos os percursos foram percorridos na velocidade intermédia (Corrida), e executados 5 vezes por cada participante, num total de 15 passagens totais. No final, foi calculada a média dos tempos até ao primeiro disparo e entre o primeiro e o segundo disparo, e calculados também os respetivos desvios-padrão.

Os resultados obtidos foram os seguintes, onde  $t_1$  é o tempo para efetuar o primeiro disparo, e  $t_2$  o tempo entre o primeiro e o segundo disparo.

	Média	Desvio-padrão
$t_1$	2.650	0.297
$t_2$	1.461	0.381

FIGURA A5: Resultados dos testes para tempos de aquisição e tempos entre disparos.

## Análise dos resultados

De acordo com os resultados obtidos no primeiro teste, pode-se concluir que, à medida que a velocidade radial de um alvo em movimento aumenta, a precisão de tiro do atirador (ou a quantidade de disparos onde se verificaram impactos no alvo) tem tendência a diminuir. Isto é, verificam-se mais impactos com sucesso quando a velocidade do alvo é menor, relativa a um atirador estacionário.

Para o segundo teste, verificou-se que a velocidade de aquisição de um alvo em movimento ( $t_1$ ), foi praticamente independente do atirador que executava os disparos, assim como o tempo entre o primeiro e o segundo disparo ( $t_2$ ). Analisando os resultados foram definidos dois tempos diferentes: Tempo de Detecção, Tempo de Aquisição e Tempo de Pontaria, onde o tempo de Pontaria é dado por  $t_2$  e onde  $t_1$  é o tempo de Aquisição somado ao tempo de Pontaria. O tempo de Aquisição é dado por  $(t_1-t_2)$ .